

# 电子工业技术词典

其它元器件

国防工业出版社

R  
73.6072  
174.10

# 电子工业技术词典

## 其它元器件

印制线路板 延迟线

超导电技术 液晶 驻极体

《电子工业技术词典》编辑委员会 编



## 内 容 简 介

《电子工业技术词典》是在一九六四年出版的《无线电工业技术词典》试用本的基础上作了较大修改和增补而编写的。本《词典》是一本为广大工农兵和干部提供的深入浅出、简明实用的工具书。它也可供从事某个具体专业的科技人员在了解电子工业整个领域的全貌、扩大知识面时参考。

本《词典》共有三十四章。正文中各词汇后附有英文对照，书末附有英文索引，合订本中还附有汉字笔画索引。在出版合订本之前，将先分册出版。各分册所包括的章节内容和出版先后次序，将视具体情况而定。

本分册是《词典》第十五章其它元器件。它包括印制线路板、延迟线、超导电技术、液晶和驻极体。

## 电子工业技术词典

### 其它元器件

印制线路板 延迟线

超导电技术 液晶 驻极体

《电子工业技术词典》编辑委员会 编

\*

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业许可出字第074号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

\*

787×1092 1/16 印张3 5/8 72千字

1977年1月第一版 1977年1月第一次印刷 印数：00,001—23,000册

统一书号：17034·29-23 定价：0.41元

## 前 言

《电子工业技术词典》是在无产阶级文化大革命伟大胜利的鼓舞下，在学习无产阶级专政理论的热潮中，在电子工业发展的新形势下出版的。它是在一九六四年出版的《无线电工业技术词典》（试用本）的基础上编写的。

原《词典》自发行以来，曾受到广大读者的欢迎，为宣传、普及、推广电子技术知识起了一定的作用。十多年来，在毛主席革命路线的指引下，我国电子工业已有很大的发展，生产规模不断扩大，技术水平迅速提高，技术队伍日益壮大，电子技术的推广应用已引起国民经济各部门的重视，并在社会主义革命和社会主义建设中发挥出作用。目前，电子工业已成为国民经济的一个组成部分，电子工业战线的广大职工正在为实现第四届全国人民代表大会提出的宏伟目标而努力奋斗。为适应这一大好形势，更好地为无产阶级政治服务，为工农兵服务，为社会主义服务，我们对原《词典》进行了一次较大的修改和增补。内容力求反映七十年代电子技术的水平，释文尽量做到简明、通俗。目的是为了向要求对电子工业技术有一般常识的广大工农兵和干部提供一本实用的工具书；同时也可供从事某个具体专业的科技人员在了解电子工业整个领域的全貌和扩大知识面时参考。

本《词典》共分三十四章。其目录如下：

- |                 |             |
|-----------------|-------------|
| 一、电工基础；         | 二、基本电子线路；   |
| 三、网络分析与综合；      | 四、电波传播与天线；  |
| 五、信息论；          | 六、电阻、电容与电感； |
| 七、厚薄膜电路；        | 八、磁性材料与器件；  |
| 九、电子陶瓷与压电、铁电晶体； | 十、机电组件；     |
| 十一、电线与电缆；       | 十二、电子管；     |
| 十三、半导体；         | 十四、电源；      |
| 十五、其它元器件；       | 十六、通信；      |

32438

- |                |                  |
|----------------|------------------|
| 十七、广播与电视；      | 十八、雷达；           |
| 十九、导航；         | 二十、自动控制与遥控、遥测；   |
| 二十一、电子对抗；      | 二十二、电子计算机；       |
| 二十三、系统工程；      | 二十四、电子技术的其它应用；   |
| 二十五、微波技术；      | 二十六、显示技术；        |
| 二十七、红外技术；      | 二十八、激光技术；        |
| 二十九、电声；        | 三十、超声；           |
| 三十一、声纳；        | 三十二、专用工艺设备与净化技术； |
| 三十三、电子测量技术与设备； | 三十四、可靠性。         |

各章互有联系，并尽量避免章节间词汇的重复，故每章只有一定的系统性。正文前有章节和词汇目录，正文中各词汇后附有英文对照，最后附有汉字笔画索引与英文索引。本《词典》将先分册出版，各分册所包含的章节内容和出版先后次序将视具体情况而定。各分册无汉字笔画索引。

本《词典》的编写工作，自始至终是在毛主席革命路线的指引下，在党的领导下进行的。贯彻了“独立自主，自力更生”的伟大方针，坚持了群众路线，实行了工人、干部、科技人员和生产、科研、教学三个结合，以及理论联系实际的原则。《电子工业技术词典》本身就是广大群众集体智慧的结晶。它的编写过程也反映了无产阶级文化大革命后我国出版战线上的新气象。

由于我们水平有限，加上时间仓促，虽然作了很大努力，但《词典》中还可能存在不少错误和不妥之处，恳请广大读者及时批评指正。

《电子工业技术词典》编辑委员会

一九七五年十月一日

# 目 录

## 一、印制线路板

印制线路板·····	15-1	内层连接·····	15-3
单面印制线路板·····	15-1	贯通连接·····	15-3
双面印制线路板·····	15-1	元件孔·····	15-3
多层印制线路板·····	15-1	安装孔·····	15-4
挠性印制线路板·····	15-1	检测孔·····	15-4
平面印制线路板·····	15-2	定位孔·····	15-4
平滑印制线路板·····	15-2	金属化孔·····	15-4
齐平印制线路板·····	15-2	印制接触体·····	15-4
基材·····	15-2	插头·····	15-4
导电箔·····	15-2	印制线路板引出端·····	15-4
覆箔板·····	15-2	定位槽·····	15-4
粘结片·····	15-2	工艺导线·····	15-4
预浸材料·····	15-2	印制标记·····	15-4
光敏抗蚀剂·····	15-2	元件面·····	15-4
感光胶·····	15-2	参考基准·····	15-4
光敏抗蚀干膜·····	15-2	边距·····	15-4
耐蚀干膜·····	15-3	添加法·····	15-4
腐蚀剂·····	15-3	加成法·····	15-5
光亮剂·····	15-3	半添加法·····	15-5
印料·····	15-3	半加成法·····	15-5
助焊剂·····	15-3	减去法·····	15-5
阻焊剂·····	15-3	减成法·····	15-5
黑白图·····	15-3	照相底版·····	15-5
原图·····	15-3	生产模版·····	15-5
照相底图·····	15-3	拼版·····	15-5
加工图·····	15-3	多件生产模版·····	15-6
导电图形·····	15-3	光化法·····	15-6
焊盘·····	15-3	感光法·····	15-6
中心定位点·····	15-3	丝网印刷法·····	15-6
导线·····	15-3	丝印法·····	15-6

电镀	15-6	脱胶	15-7
敏化	15-6	导线间距	15-7
活化	15-6	导线宽度偏差	15-7
催化	15-6	侧腐蚀	15-7
化学镀	15-6	侧淀积	15-7
化学沉积	15-6	侧凸缘	15-8
腐蚀	15-6	开路	15-8
腐蚀系数	15-6	短路	15-8
多层板压制	15-6	金属化孔电阻	15-8
树脂流动度	15-7	内连电阻	15-8
印制板组件	15-7	重合性	15-8
验收试验板	15-7	耐焊性	15-8
针孔	15-7	可焊性	15-8
缺口	15-7	剥离强度	15-8
凹坑	15-7	拉脱强度	15-8
翘曲	15-7	载流量	15-8
分层	15-7	线间电阻	15-8
起花	15-7		

## 二、延 迟 线

延迟线	15-9	超声延迟线	15-13
电磁延迟线	15-9	体波超声延迟线	15-13
延迟电缆	15-10	液体超声延迟线	15-13
螺旋延迟电缆	15-10	固体超声延迟线	15-13
磁芯延迟电缆	15-10	磁致伸缩延迟线	15-14
对称延迟电缆	15-10	非色散超声延迟线	15-14
同轴延迟电缆	15-10	色散超声延迟线	15-14
延迟元件	15-10	多角形超声延迟线	15-14
集总参数延迟线	15-11	回波超声延迟线	15-14
抽头延迟线	15-11	可变超声延迟线	15-14
机械可变延迟线	15-11	抽头超声延迟线	15-15
电调延迟线	15-11	光弹性延迟线	15-15
电磁色散延迟线	15-12	扭转波超声延迟线	15-15
片形延迟线	15-12	切变波带状超声延迟线	15-15
波导延迟线	15-12	丝状色散超声延迟线	15-16
折叠带延迟线	15-12	带状色散超声延迟线	15-16
屏斗链延迟线	15-12	阶梯带状色散超声延迟线	15-16
电荷耦合延迟线	15-13	渐变带状色散超声延迟线	15-17

垂直衍射色散超声延迟线·····	15-17	延时·····	15-20
楔形衍射色散超声延迟线·····	15-17	延时温度系数·····	15-21
因姆肯色散超声延迟线·····	15-18	上升时间·····	15-21
表面声波延迟线·····	15-18	延时上升比·····	15-21
环绕式表面声波延迟线·····	15-19	延迟畸变·····	15-21
表面声波抽头延迟线·····	15-19	脉冲传输系数·····	15-21
表面声波数字延迟线·····	15-19	插入损耗·····	15-21
表面声波色散延迟线·····	15-19	馈通信号·····	15-21
表面声波可变延迟线·····	15-20	泄漏信号·····	15-21
旋磁延迟线·····	15-20	虚假信号·····	15-21

### 三、超 导 电 技 术

超导技术·····	15-22	冷子管·····	15-25
超导电性·····	15-22	线绕冷子管·····	15-25
正常态·····	15-22	交叉膜冷子管·····	15-26
超导态·····	15-22	屏蔽式交叉膜冷子管·····	15-26
超导体·····	15-22	薄膜冷子管·····	15-26
临界温度·····	15-22	交叉膜冷子管存储电路·····	15-26
临界磁场·····	15-22	交叉膜冷子管触发电路·····	15-26
临界电流·····	15-22	薄膜冷子管放大器·····	15-27
完全导电性·····	15-23	持续电流存储元件·····	15-27
持续电流·····	15-23	连续膜存储器·····	15-27
完全抗磁性·····	15-23	隧道冷子管·····	15-27
屏蔽电流·····	15-23	超导通信电缆·····	15-28
迈斯纳效应·····	15-23	超导延迟线·····	15-28
超导隧道效应·····	15-23	超导磁体·····	15-28
正常电子隧道效应·····	15-24	超导微带谐振器·····	15-28
约瑟夫逊效应·····	15-24	毫米波和亚毫米波发生器·····	15-29
直流约瑟夫逊效应·····	15-24	超导参量放大器·····	15-29
交流约瑟夫逊效应·····	15-24	超导混频器·····	15-29
薄膜隧道结·····	15-24	超导变频器·····	15-29
点接触隧道结·····	15-24	超导天线·····	15-29
超导桥隧道结·····	15-24	超导辐射计·····	15-30
焊滴隧道结·····	15-25	磁强计·····	15-30
超导弱连接·····	15-25	宽带低电平视频检测器·····	15-30
超导弱耦合·····	15-25	频率分析计·····	15-31
超导结·····	15-25	超导伏特计·····	15-31



## 四、液 晶

液晶·····	15-32	相变效应·····	15-37
热熔液晶·····	15-32	扭曲效应·····	15-37
近晶型液晶·····	15-32	宾主效应·····	15-37
向列型液晶·····	15-32	存储效应·····	15-38
胆甾型液晶·····	15-32	动态散射·····	15-38
液晶的封装·····	15-33	导电区·····	15-38
液晶盒·····	15-33	介电区·····	15-39
方向子·····	15-33	畴稳定区·····	15-39
各向异性·····	15-33	响应时间·····	15-39
熔点·····	15-33	显示寿命·····	15-39
清亮点·····	15-34	对比度·····	15-39
电阻率·····	15-34	灰度级·····	15-39
电极·····	15-34	阈值电压·····	15-40
表面取向·····	15-34	热光效应·····	15-40
垂直排列结构·····	15-34	液晶热光显示·····	15-40
平行排列结构·····	15-35	液晶数字显示·····	15-40
随机平行排列·····	15-35	寻址技术·····	15-41
胆甾型液晶的平面结构·····	15-35	矩阵寻址·····	15-41
焦锥结构·····	15-35	大屏幕液晶显示·····	15-42
电光效应·····	15-36	电子束扫描动态散射显示·····	15-43
场感应双折射·····	15-36	光导-液晶器件·····	15-43
垂直排列相畸变·····	15-37		

## 五、驻 极 体

驻极体·····	15-44	单极驻极体·····	15-45
永电体·····	15-44	驻极体静电计·····	15-45
热驻极体·····	15-44	驻极体高压发生器·····	15-45
光驻极体·····	15-44	驻极体电动机·····	15-46
电驻极体·····	15-45	驻极体静电发电机·····	15-46
磁驻极体·····	15-45	驻极体空气过滤器·····	15-46
放射性驻极体·····	15-45		

## 一、印制线路板

### 印制线路板

printed wiring board

以绝缘板为基材,切成一定尺寸,其上至少附有一个导电图形,并布有孔(如元件孔、紧固孔、金属化孔等),用来代替以往装置电子元器件的底盘,并实现元器件之间的相互连接,这种布线板称印制线路板,简称印制板。

习惯称“印制线路板”为“印制电路”是不确切的,因为在印制板上并没有“印制元件”而仅有布线。

采用印制板的主要优点是:

1. 由于图形具有重复性(再现性)和一致性,减少了布线和装配的差错,节省了设备的维修、调试和检查时间;
2. 设计上可以标准化,利于互换;
3. 布线密度高,体积小,重量轻,利于电子设备的小型化;
4. 利于机械化、自动化生产,提高了劳动生产率并降低了电子设备的造价。

印制板的制造方法可分为减去法(减成法)和添加法(加成法)两大类。目前,大规模工业生产还是以减去法中的腐蚀铜箔法为主。

### 单面印制线路板

single side printed wiring board

只在一面有导电图形的印制板。

单面印制板通常采用酚醛纸基覆箔板制作,这种基材一般用于电性能要求较低的收音机、电视机、仪器仪表等。由于单面板图形比较简单,生产量较大,所以大都采用丝网漏印法生产。

### 双面印制线路板

double side printed wiring board

指两面都有导电图形的印制板。

通常使用的基材是环氧玻璃布板、环氧酚醛玻璃布板和环氧纸板。这些基材适用于电性能要求较高的通信机、电子计算机和仪器仪表。由于双面布线,且一般两面的导电图形借助金属化孔进行连接,所以有布线密度较高,使用方便的特点。

根据不同的要求,其制作方法可采用丝印法或光化法。

### 多层印制线路板

multilayer printed wiring board

具有多于两层导电图形的印制板称多层印制线路板。

多层印制板的内层导电图形与绝缘粘片相间迭置,外层为覆箔板,经热压成一体。相互绝缘的各层导电图形按设计要求通过金属化孔实现层间电连接。

其导电图形的制作以光化法为主。

多层印制板的特点是:

1. 与集成电路相配合,可使整机小型化、轻量化;
2. 提高布线密度,缩小了元、器件的间距,缩短信号的传输路径;
3. 减少元、器件焊接点,降低了故障率;
4. 引入屏蔽层,信号失真小;
5. 引入接地散热层,减轻局部过热现象,提高整机的可靠性。

### 挠性印制线路板

flexible printed wiring board

它是以挠性材料为基材的印制线路板。

又称软性印制板或柔性印制板。其特点是重量轻、体积小，可折叠、弯曲、卷绕，可利用三度空间作立体排列，能连续化生产。随着电子装备向小型轻量化、高密度装配发展，挠性印制板在电子计算机、自动化仪表、通信设备中的应用也日益广泛。

挠性印制板的制造工艺与一般印制板大致相仿。使用的基材品种也很多，如聚酯、聚酰亚胺、聚四氟乙烯薄膜等。印制电缆也是挠性印制板的一种。

#### 平面印制线路板

flush printed wiring board

指导电图形嵌在绝缘基材内，导体和基板两者的表面齐平同高的印制板。又称平滑印制板或齐平印制板。通常，导电图形要求镀覆一层耐磨金属。应用于各种转换开关，自动化通信和计算技术的码盘，数/模和模/数转换器等。优点是可靠性好和使用寿命长。

#### 平滑印制线路板

flush printed wiring board

即“平面印制线路板”。

#### 齐平印制线路板

flush printed wiring board

即“平面印制线路板”。

#### 基材

base material

承载导电图形的绝缘材料称基材。

#### 导电箔

conductive foil

指粘合在基材一面或两面的箔片金属导电材料。例如覆铜层压板的铜箔。

#### 覆箔板

metal clad board, metal foil clad board

覆以金属箔的绝缘材料称覆箔板（通常覆以铜箔）。它是腐蚀铜箔法制作印制板的主要材料。覆箔板的种类和品种很多，按增强材料区分有纸基、玻璃布和合成纤维三种，

按粘合剂树脂区分有酚醛、环氧、聚酯、聚四氟乙烯、聚酰亚胺、聚苯撑氧等。按用途区分有通用型和特殊型。特殊要求如自熄、耐燃、耐热、可冷冲、适用于高频等。

#### 粘结片

bonding sheets

粘结片用作多层印制线路的内层导电图形的粘结材料和层间绝缘，还用作平面印制线路板的基材。又称预浸材料或半固化片。

它由层状纤维材料（如玻璃布）浸以树脂溶液经烘干而成。一般要求含有一定的树脂和挥发物，具有一定的流动度和胶化时间，此外还要求有一定的保存期。

#### 预浸材料

prepreg

即“粘结片”。

#### 光敏抗蚀剂

photoresists; photo-sensitive resists

是用光化法制图形的重要材料。它由某些天然或合成的高聚物在增感剂的配合下，经有选择地光照后形成一层抗蚀膜，利用这一特性在覆箔板上制作导电图形。又称感光胶。

光敏抗蚀剂分正性和负性两类。增感剂通常是重铬酸盐。常使用的高聚物有骨胶、明胶、虫胶、蛋白胶、聚乙烯醇、聚乙烯醇肉桂酸酯等。这一类都属于液态光敏抗蚀剂。

#### 感光胶

photoresists; photo-sensitive resists

即“光敏抗蚀剂”。

#### 光敏抗蚀干膜

dry film resists; photo-sensitive film resist

是光化法制图形工艺中出现的新材料。它由聚酯基片覆以光敏抗蚀干膜外贴聚乙烯保护膜而成。它也分正性和负性两种，其优点是使用方便，可以简化工艺，提高产量，改进质量，利于自动化生产。又称耐蚀干膜。

**耐蚀干膜**

dry film resist

即“光敏抗蚀干膜”。

**腐蚀剂**

etchant

指腐蚀铜箔法所用的去除铜箔的药剂。常用的有三氯化铁、氯化铜、过硫酸铵等。

**光亮剂**

brightener

它是电镀浴中的添加剂，能使镀件表面致密、光亮。在印制板的镀铜、镀铅-锡等工序中均添加光亮剂。

**印料**

inks

指丝印法制图形所用的各种浆料。它分为抗腐蚀、耐电镀、阻焊和标记印料等。通常用树脂、填料、颜料、干性油和溶剂配制。一般要求是扩散性小，快干，易去除，气味小和毒性小。

**助焊剂**

fluxes

指焊接时用于促进金属连接的药剂。又称焊剂。常用的是松香焊剂。

**阻焊剂**

solder resist

指在印制板上焊接元、器件时，为避免焊接中形成短路和误焊而涂覆在不需要焊接部位的耐热有机涂料。一般在焊接元、器件之前用丝网漏印法涂覆阻焊剂。根据用户要求，也可由印制板供应单位预涂覆。阻焊剂又称防焊剂。

**黑白图**

artwork master

是照相制版用的图纸，又称原图或照相底图。黑白图通常要比实际的印制板尺寸放大若干倍。图形的尺寸要有一定的精度要求，绘图纸要求平整、变形小。黑白图可以用绘制、刻图、粘贴胶粘带等方法制得。

**原图**

artwork master

即“黑白图”。

**照相底图**

artwork master

即“黑白图”。

**加工图**

manufacturing drawing

说明印制板上图形的相互位置、尺寸、孔径和其他特征要求的蓝图。供印制板制作时机加工使用。

**导电图形**

conductive pattern

印制线路板上由导电材料构成的图形。

**焊盘**

land, pad

导电图形上用于焊接元、器件的部位。

**中心定位点**

center spot

焊盘中心的一个小圆圈，钻孔时用作钻头的导向点。

**导线**

conductor

导电图形上的导电路径，用于实现元、器件的电连接。

**内层连接**

interlayer connection

指多层印制板各层导电图形之间的电连接。通常内层连接通过金属化孔来实现。

**贯通连接**

through connection

指印制板相对两面导电图形之间的电连接。

**元件孔**

component hole

指印制板上装接元、器件的孔，用于把元、器件引线接至印制板以实现与导电图形的电连接。

**安装孔**

mounting hole

指为把印制板装置于机架, 或为使元、器件固定于印制板, 在印制板上所开的机械安装孔。又称紧固孔。

**检测孔**

inspection hole

指印制板上为在组装和调机时用于检测电路功能而开的孔。

**定位孔**

location hole

指在料板或印制板上为在加工过程中精确定位面开的孔或凹口。在多层印制板的制作中, 为保证各层导电图形的贯通连接, 定位孔尤其重要。定位孔又称基准孔。

**金属化孔**

plated-through hole

孔壁上镀覆金属的孔叫金属化孔。孔壁涂覆金属的过程叫孔金属化。它对各层导电图形起电连接作用。

**印制接触体**

printed contact

位于印制板的引出端, 是导电图形的组成部分, 也是接触系统的组成部分。通常接触体部分要求添镀耐磨金属。

**插头**

edge board contacts

指在印制板一侧的一排印制接触体, 用于与印制线路板插座相插配, 以实现与外部电路的电连接。或称引出端。

**印制线路板引出端**

edge board contacts

即“插头”。

**定位槽**

locating slot

位于印制板的引出端, 用以保证与配有插座适当插配和准确定位的槽沟。

**工艺导线**

plating bar

印制板上导电图形的各个孤立部分, 为进行电镀须互相导通, 为此暂时设置而随后仍须去除的导线, 称工艺导线。

**印制标记**

marking; legend; printed symbol

在印制板表面上印制的识别文字或符号。

**元件面**

component side

指印制线路板供安装大多数元件的一面。

**参考基准**

datum reference

在制造或测量中为使图形或层片定位而确定的点、线或面。

**边距**

edge space

图形或元件距印制板边缘的距离。

**添加法**

additive process

指在绝缘基材上有选择地覆盖或沉积导电材料, 以构成导电图形的方 法。又称加成法。

它是制作印制线路板早期采用的主要方法。由于当时的工艺与技术水平较差, 制得的印制线路板, 其导电层与基材之间结合不牢, 但此法因其工艺简单、合理, 所以一直有人在研究改进。

出现了催化层压板、选择性活化、化学沉铜等工艺后, 大量采用添加法才成为可能。

此法目前存在的主要问题除沉铜层与基材间结合力不够稳定外, 还有沉铜时间较长, 镀液控制较严格等。其优点是, 可加工精细的导线, 节省铜, 工艺简单合理, 使用的基材品种不受限制, 导电图形报废后可重制,

等等。

添加法的工艺有多种,主要的如下:

1. 表面处理法:层压板表面用化学或机械方法使其粗化,然后有选择地沉积金属。
2. 在催化层压板上有选择地沉积金属。
3. 光选择沉铜法:利用氯化亚锡的光活性进行有选择地沉积金属。
4. 光扫描沉铜法:利用谷氨酸银等的光活性进行光扫描沉积金属。
5. 双相树脂板沉铜法:在双相树脂层压板上有选择地沉积金属。

#### 加成法

additive process

即“添加法”。

#### 半添加法

semi-additive process

所谓半添加法(半加成法),就是采用较薄铜箔(5~10微米)的覆铜箔板,或用催化性层压板化学沉铜到5~10微米的厚度,然后印制阴纹图形,在孔金属化阶段进行图形电镀(铜),再把导电图形加厚到要求的厚度。这种工艺能节省铜和腐蚀剂,且可减少导线的侧蚀而提高导线的精度。

#### 半加成法

semi-additive process

即“半添加法”。

#### 减去法

subtractive process

指有选择地去除导电材料层不需要的部分而获得导电图形的方法。又称减成法。

目前印制线路板工业化生产所采用的腐蚀铜箔法就是典型的减去法。腐蚀铜箔法的工艺,以双面孔金属化板为例,一般有三种:

1. 切割工艺导线法(正镀法,见“双面印制线路板”);
2. 耐蚀金属保护法(反镀法,见“多层印制线路板”);
3. 堵孔法(其工艺流程是:双面覆箔板→打孔→孔金属化→堵孔保护→制图形→腐蚀→去除耐蚀剂→镀插

头→外型加工→表面处理→成品)。

三种工艺的比较:

切割工艺导线法:工艺较烦琐,不利于自动化,特别是金属化孔多而密集时,切割工艺导线法的工作量太大。

堵孔法:孔中耐蚀材料不易清洗干净,特别是孔径小于1毫米时更为突出。

耐蚀金属保护法:这是比较好的一种工艺,工序简单,有利于机械化、自动化。

#### 减成法

subtractive process

即“减去法”。

#### 照相底版

photographic film

即通过照相的方法,把放大的黑白图缩小为符合设计尺寸要求的底版。它分干版与湿版两种。

干版制版相当于普通的照相,不同的是印制线路板所用的底片是专用特硬反差大的底片。

湿版与干版的不同点在于照相时感光膜是现涂覆的。

湿版的工艺流程是:清洗玻璃板→浇罗甸→浸银液→曝光→显影→定影→减薄→加厚→黑化→修版→喷罩光化→底版。

#### 生产模版

production master

指制作印制线路板的模版。其精度和尺寸要符合设计要求,它分为阳纹底版和阴纹底版。导电图形不透光的叫阳纹底版;导电图形透光的叫阴纹底版。

一般情况下,照相底版可直接用作生产模版。

#### 拼版

multiple image production master

为了提高生产率,在一块大的照相底版上复制有多个相同或不相同的图形,叫拼

版。又称多件生产模版。

### 多件生产模版

multiple image production master

即“拼版”。

### 光化法

photoresist process

利用光敏抗蚀剂经光化反应制作印制板导电图形的方法。又称感光法。其工艺流程如下：

覆箔板→下料→清洗表面→涂覆光敏抗蚀剂→干燥→曝光→显影→胶膜处理→修版→腐蚀→印制板导电图形。

特点：图形精度比较高，利于多品种小批量生产。

### 感光法

photoresist process

即“光化法”。

### 丝网印刷法

stencil screen printing

利用丝网镂空版和印料，经刮印得到图形的方法叫丝网印刷法，简称丝印法。

丝印法制得的图形精度低于光化法，但工序简单，生产效率高，成本低，适用于大量生产。

丝网镂空版，通常由锌版转移法，炭素纸转移法和漆膜雕刻法等制成。工艺流程见“单面印制线路板”。

### 丝印法

stencil screen printing

即“丝网印刷法”。

### 电镀

electroplate

用电化学方法镀覆一层金属叫电镀。在印制板生产过程中，孔金属化和导电图形加厚需镀铜，引出端接触体需镀硬金等。

### 敏化

sensitization

使非金属材料表面上吸附某种特定金属

离子的过程叫敏化。在印制线路板孔金属化和塑料的电化镀铜时，一般先浸入氯化亚锡加盐酸的敏化液中，以吸附一层亚锡离子（其作用见“活化”）。

### 活化

activation

非金属材料经敏化处理后放入含有硝酸银、氯化金或氯化钯的盐酸溶液中使材料表面经化学反应析出新生态的贵金属原子作为化学镀的活性中心，这个过程叫活化或催化。其作用是使化学镀加速进行，并使镀层与材料表面结合牢固。

胶体钯活化液是敏化与活化合为一体的溶液。

### 催化

activation

即“活化”。

### 化学镀

electroless plating

利用化学方法在物质表面上覆盖一层金属叫化学镀，或称化学沉积。目前在印制线路板的制作中，孔金属化的第一道工序就是化学镀（沉铜）。

### 化学沉积

electroless plating

即“化学镀”。

### 腐蚀

etching

将导电箔的不需要的部分以化学或电化学方法去除以获得导电图形的过程叫腐蚀。

### 腐蚀系数

etch factor

即腐蚀深度与侧腐蚀深度之比。

### 多层板压制

multilayer laminating

在制作多层印制线路板时，在若干块内层图形之间间隔以粘结层，并在外层上下叠加

两片覆箔板板,在精确定位的情况下,热压成一体过程叫多层板压制。

### 树脂流动度

resin flow

流动度是指在规定的试样上,于一定的温度和压力下树脂流动的程度。它是制作多层印制线路板所用的粘结片性能的重要指标之一。

### 印制板组件

printed board assembly

装有电子元件及机械紧固件,并完成了全部工艺过程(如焊接、涂覆等)的印制板,叫印制板组件。

### 验收试验板

acceptance test sheets; test coupon

指与正式产品以同一生产过程制出,从而对于该批印制板具有代表性,且适合据以确定该批印制板是否合格的一块印制板。其导电图形可与正式产品相同,也可因试验的需要而另行设计。

### 针孔

pin hole

指穿透导电层或导电图形的微孔。系覆箔板或线路板的一种缺陷。

### 缺口

nick

指导电图形不整齐边缘上的锯齿状缺口。

### 凹坑

indentation

指导电层上的陷痕。

### 翘曲

bow and twist

指印制线路板或覆箔板的变形,即不平整。通常有两种现象。一种是弯曲变形(bow),即呈圆柱状或球状曲面之倾向,若是矩形板则其四个角同在一平面上。另一种是扭翘变形(twist),若是矩形板,则有一个

角不在其它三个角所在的平面上。

### 分层

delamination

指基材或多层印制线路板层间出现局部或全部分离的现象。

### 起花

measles

指印制线路板基材表面出现局部树脂集中或微气泡群集的现象。或称发花。

### 脱胶

resin fall

指印制线路板基材经酸、碱、溶剂或电镀液等处理引致表面出现树脂脱落的现象。

### 导线间距

conductor space

指印制线路板上相邻两导线之间的距离(并非指中心距)。

### 导线宽度偏差

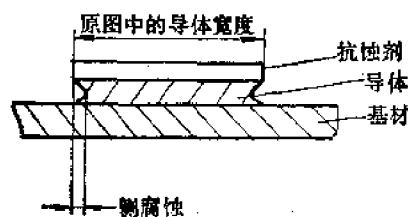
deviation width of conductor

印制线路板上导线的实际宽度与设计要求、生产模版或抗蚀剂限定的导线宽度的偏差。

### 侧腐蚀

undercut; side etching

指由于腐蚀在导体每侧形成的凹沟,见图示。



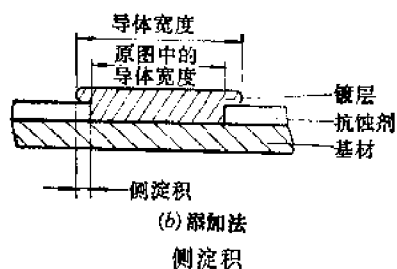
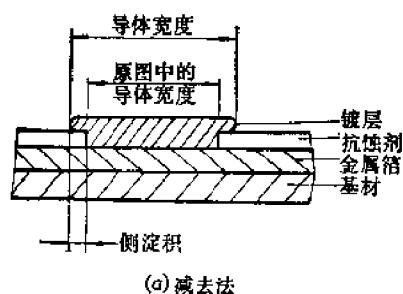
侧腐蚀

### 侧淀积

outgrowth

指由于电镀淀积超出生产模版或抗蚀剂所限在导体每侧的增宽,见图示。

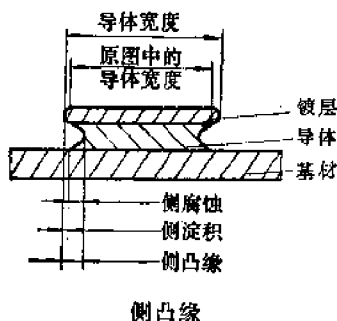




### 侧凸缘

overhang

指侧淀积与侧腐蚀之总和，见图示。若无侧腐蚀，则侧凸缘仅指侧淀积。



### 开路

open circuit

印制线路板导电图形中导线及导线与金属化孔间出现断裂的现象叫开路。

### 短路

short circuit

印制线路板原设计中电路上不通导的导电图形，由于制作不善使相邻导线互连叫作短路。

### 金属化孔电阻

through hole resistance

指金属化孔的电阻。又称对孔电阻或通孔电阻。

### 内连电阻

interconnection resistance

指多层印制线路板中，按原布线设计的每组导线的电阻，它包括导线电阻和金属化孔的电阻。或称孔线电阻。

### 重合性

registration

指印制线路板的导电图形位置与原设计位置的一致性，以及多层（包括双面）印制线路板的各层图形位置的一致性。

### 耐焊性

soldering resistance

以印制线路板在规定的焊接温度、焊接时间下，所能经受的焊接次数来表示。经受次数越多，则耐焊性越好。

### 可焊性

solderability

指印制线路板导线表面与焊料的结合能力。若导体表面污染、氧化，以致与焊料结合不好，则可焊性就差。

### 剥离强度

peel strength

从覆箔板或印制线路板上，把单位宽度的金属箔条剥离下来的力叫剥离强度，以公斤/厘米表示。

### 拉脱强度

pull-off strength

把标准焊盘从印制线路板试样上垂直拉下来的力叫拉脱强度，以公斤/厘米<sup>2</sup>表示。

### 载流量

current carrying capacity

在规定条件下，容许连续通过导线的最大电流。

### 线间电阻

insulation resistance between conductors

印制线路板上标准的两相邻导线之间的绝缘电阻。

## 二、延 迟 线

### 延迟线

delay line

用于将电信号延迟一段时间的元件或器件称为延迟线。延迟线应在通带内有平坦的幅频特性和一定的相移特性（或延时频率特性），要有适当的匹配阻抗，衰减要小。

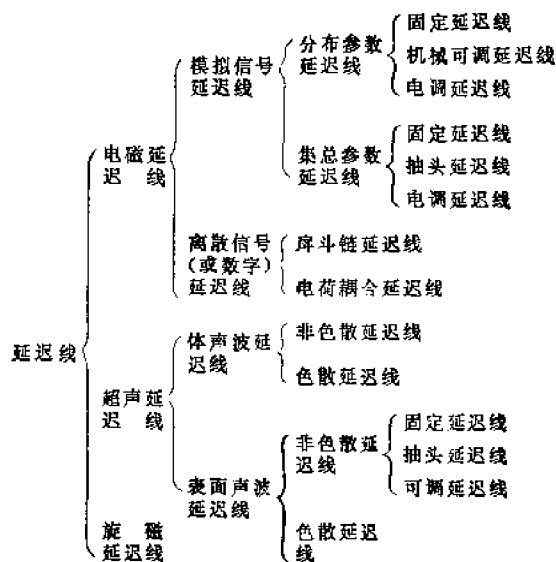
延迟线广泛使用在雷达、电子计算机、彩色电视系统、通信系统，以及测量仪器中。

延迟线主要分电磁延迟线和超声延迟线两大类。电磁延迟线延时由几毫微秒到几十

微秒，幅频特性多呈低通型，延时在几微秒以上时，3分贝带宽仅限于数兆赫以下。超声延迟线延时由几微秒到几千微秒，幅频特性呈带通型，中心频率可达几百兆赫以上。

电磁延迟线发展较为成熟，工艺简便，价格较低，使用普遍。超声延迟线，特别是表面声波延迟线，正在不断发展之中，能满足多种用途。在特性与使用方面，两类延迟线各有所长，互为补充。

延迟线的分类



### 电磁延迟线

electromagnetic delay line

电磁延迟线可概分为模拟信号延迟线和离散信号（或数字）延迟线。但通常所谓的电磁延迟线，系指模拟信号延迟线，而不包括后来出现的离散信号（或数字）延迟线。

模拟信号电磁延迟线是专门设计的传输线或电网络，用于延迟（模拟）电信号，其延时取决于传输线或电网络的电长度。

电磁延迟线的符号见图1。电磁延迟线的等效电路见图2。

电磁延迟线按结构可分为分布参数型和集总参数型两类。

同轴线和对称线是典型的分布参数型延迟线，但其延迟时间太小，所以通常分布参数延迟线是指由均匀缠绕的电感线圈和其与接地导体间的分布电容所构成的电缆型或元件型的延迟线。

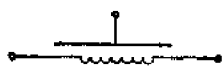


图1 电磁延迟线符号

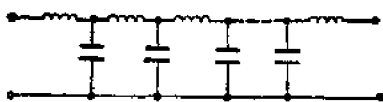


图2 电磁延迟线等效电路

集总参数型延迟线是多节串接的电感电容低通滤波网络。

分布参数型延迟线具有工艺方便, 价格较低的优点, 延时为几毫秒到几微秒, 幅频特性呈遥截止型, 延时在十几到几十毫秒时通带可达几十到几百兆赫。

集总参数延迟线有损耗低、体积小特点, 延时为几十毫秒到几十微秒, 通带受截止频率限制, 延时在几微秒以上仍有数兆赫带宽。

### 延迟电缆

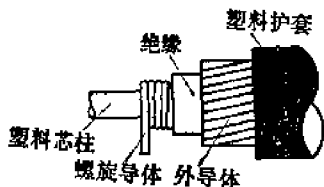
delay cable

是一种柔软可弯曲的连续长度的分布参数延迟线。主要分同轴、对称和螺旋三种型式。

### 螺旋延迟电缆

helical delay cable

指中心导体为螺旋型线圈的延迟电缆。它的基本结构如图所示。



螺旋延迟电缆结构图

如芯柱采用磁性粉末和塑料混合而成的磁介质材料, 则称为磁芯延迟电缆。

延迟电缆的特性阻抗和延时分别为  $Z = \sqrt{L/C}$ ,  $T = l\sqrt{LC}$ 。  $L$ 、 $C$  分别为单位长

度的电感和电容,  $l$  为电缆长度。

### 磁芯延迟电缆

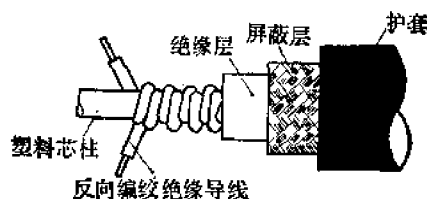
magnetic core delay cable

见“螺旋延迟电缆”。

### 对称延迟电缆

balanced delay cable

具有对称结构的延迟电缆。它的基本结构如图所示。常用于宽带示波器中延迟  $y$  轴信号。



对称延迟电缆结构图

### 同轴延迟电缆

coaxial delay cable

指用作延迟线的同轴电缆。它的延时, 与结构尺寸无关, 仅由介质材料参数 ( $\epsilon_r, \mu_r$ ) 决定, 即  $T = 3.3\sqrt{\epsilon_r \mu_r}$  毫秒/米。通常高频同轴电缆延时为 4~5 毫秒/米。

同轴延迟电缆的优点是损耗小, 频带宽, 但延时小。

将铝管或铜管外导体的半柔软性的同轴线截取一定长度绕圈封装成元件的, 则称为同轴延迟元件。

### 延迟元件

delay element

是元件型的螺旋导体延迟线。通常分为棒状和卷带状两种结构型式。

延迟元件同电缆相比, 在结构设计、制造工艺和材料选用上都有较大的灵活性, 且使用方便。

棒状延迟元件的基本结构是在骨架 (陶瓷或玻璃管) 外表面被银作接地导体, 包上绝缘层后绕制螺旋导体, 最后以金属壳封装或灌注成型。外形如图 1 所示。



图1 棒状延迟元件外形图

单层螺旋导体的延迟线具有下降的延时频率特性,通常采取多层分段绕线或补偿金属片等措施来增加匝间分布电容,使之在通带内具有平坦的延时频率特性,以取得良好的传输性能。

棒状延迟元件结构简单,使用方便,但带宽有限。

卷带型延迟元件的基本结构如图2所示,是用金属扁线在扁带绝缘芯上绕制螺旋线圈,隔以绝缘层平行配置接地导体带,而后截取一定长度并卷绕成具有高装配密度的封装体。

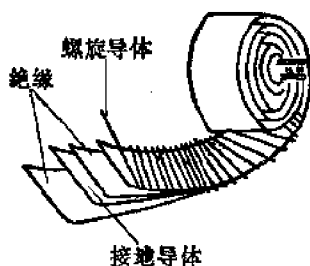


图2 卷带型延迟元件的基本结构

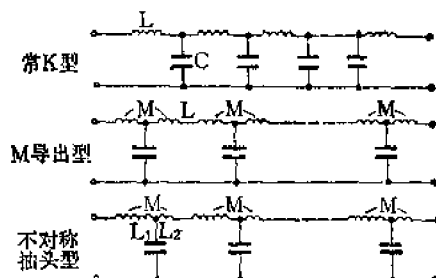
此类元件性能与延迟电缆相当,体积较小,但插入损耗较大。

### 集总参数延迟线

lumped constant delay line

是串联电感线圈和并联电容器多节级连而成的延迟线,电气上属低通滤波网络。

常用的有常K型, M导出型和不对称抽头型三种网络型式。



集总参数延迟线的三种网络型式

集中参数延迟线的延时,阻抗和截止频率分别为  $T = n\sqrt{LC}$ ,  $Z = \sqrt{L/C}$ ,  $f = \frac{1}{\pi}\sqrt{LC}$ 。L, C分别为每节电感和电容, n为节数。

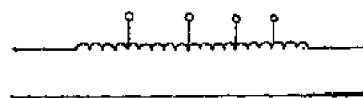
常K型是基本电路型式,但其延时随频率而增大,传输特性差,后两种型式,通过线圈间适量的互感耦合可改善延时频率特性,是常用的延迟线电路型式。

集总参数延迟线,如采用优质磁芯和电容,可使损耗减小,通带展宽,延时增大,可采用高密度装配,以减小体积,但工艺较困难,价格较贵。

### 抽头延迟线

tapped delay line

指具有中间抽头的延迟线,见示意图。适用于信号编码和要求具有多种延迟时间的脉冲电路。以集总参数延迟线的结构形式抽头较为方便。



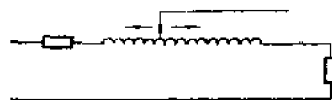
抽头延迟线示意图

### 机械可变延迟线

mechanically variable delay line

指延迟时间可连续变化的延迟线。适用作延时补偿或移相等。延时变化是通过机械调节抽头的沿线位置实现的。

分布参数延迟线的结构型式比较容易实现机调延时,见图示。



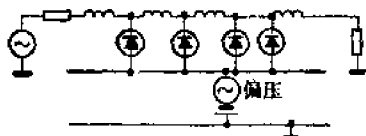
机调延时的分布参数延迟线示意图

### 电调延迟线

electrically variable delay line

指能用外加电信号来变化延时的延迟线。适用于相位自动校正或相位调制。电调

延迟线有集总参数和分布参数两种类型。常见的电调延迟线是以变容二极管作为电容的集总参数延迟线。它通过改变加在二极管上的偏压来改变二极管电容量,从而达到变化延时的目的。



电调集总参数延迟线示意图

### 电磁色散延迟线

electromagnetic dispersive delay line

指延迟时间随频率按一定规律(通常是线性)变化的延迟线,用于脉冲展宽或压缩。

通常由集总参数全通网络构成。

延时全通网络是对称四端网络,具有恒定的增益,其相移随频率成平方变化,以产生线性延时变化。通过级连不同延迟特性的全通网络,综合其延时频率特性,可得到在较宽的频率范围内的线性延时变化。

此类延迟线中心频率限于20~30兆赫以下;频率再高,则由于电感、电容元件的分布电抗的影响而无法实现。

### 片形延迟线

chip delay line

指由用集成电路工艺制成的平面电感线圈和电容构成的延迟元件,它有分布参数和集总参数两种电路型式。延时从几毫微秒到几百毫微秒,通频带从几十兆赫到几百兆赫。它的优点是体积小,延时温度系数低,延时一致性好。它具有双列直插式引出端。适用于高速计算机和通信系统。

### 波导延迟线

wave guide delay line

是传输微波信号的慢波系统,可分螺旋导体和导体壁沿轴向呈周期性波纹(或沟槽)结构的波导管等型式。

主要用在微波行波器件及线性加速器

中,经波导延迟线导引的电磁波的相速接近电子的速度,使电子注群聚,从而达到能量交换的目的。

### 折叠带延迟线

meander delay line

是工作于微波频段的延迟线。它有两个接地平板导体,中间是折叠的薄导电带,带状曲折线之间及接地平板之间充以绝缘介质。每一个曲折带是一节低频全通延时网络的微波模拟。带的长度是中心频率的 $\lambda/4$ 。延时则是回路尺寸和到接地平板距离的函数。象全通网络的综合方法一样,用若干具有参差延时特性的回路串接,可综合出所需的任何延时频率特性。

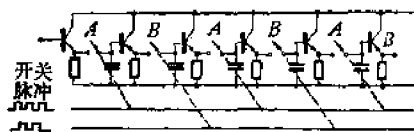
折叠带延迟线结构简单,采用集成电路工艺制作。可用作微波色散延迟线及同轴线或波导通信线路的延时均衡器等。

另用超导金属铅制成的在液氮温度(4.2°K)下工作的超导折叠带延迟线,还具有很小插入损耗和更优良的传输特性。

### 库斗链延迟线

bucket-brigade delay line

是一种电路型离散信号(数字式)延迟线。线路由取样电路、储存电容和开关电路组成(见图)。



库斗链延迟线路图

根据信息论,一个带宽为 $W$ 的连续信号可由每秒 $2W$ 的取样值表征。取样信号储存在电容中,并按开关速率顺序转运到下一级电容,这种通过转运信号来进行工作的延迟线称为库斗链延迟线。

为使电容能交替转运和接受信号,开关速率应为被延迟信号的取样率的两倍,即 $2 \times 2W$ 。当延迟线节数为 $n$ 时,则总延时为 $T = n/4W$ 。

改变开关速率,就可使延时得到电调。

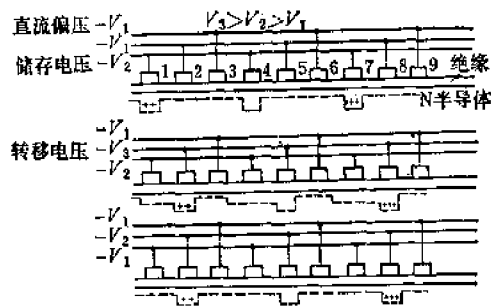
采用半导体集成电路工艺制成的庠斗链延迟线具有体积小,大延时,电调延时变化率大等优点。

它主要用于电子计算机移位寄存器及彩色电视系统的图像相位稳定,扫描速度误差校正等。

### 电荷耦合延迟线

charge coupled delay line

与庠斗链延迟线相似,也是一种将模拟信号取样、编码成数字信号进行传输的延迟线。如图示,它是一组金属-绝缘-半导体电极阵列。加在金属电极上的电压在半导体和绝缘层的界面上形成势阱,注入表征信号大小的电荷就储存在势阱内,在邻近的电极上所加的转移电压形成更深的势阱时,上述电荷就转移到这邻近的势阱中去,转移后第一个电极上电压恢复到直流偏压,第二个电极上电压减小到储存电压,这就完成了电荷转移。电荷每转移到下一组电极,即相当于信号有了一定的延时。



电荷耦合延迟线原理图

电荷耦合延迟线的延迟功能不是在复杂的电路中完成而是直接由半导体本身完成的。改变转移电压的重复频率,可改变电荷转移速度,从而使延时可变。

电荷耦合延迟线工艺较简单,在几个平方毫米面积的器件上可产生从微秒到几百毫秒的可变延时,而且还有延迟稳定、功耗低、频带宽、包装密度高等优点。

### 超声延迟线

ultrasonic delay line

超声延迟线是利用声波的传播速度比电磁波慢约5个数量级的特点而设计的。它是由输入换能器将电信号转换为声波,使之通过一定的路径,而后进入输出换能器,再转换为电信号而完成一定延时的。

超声延迟线按其所传播的弹性波的类型可分为体波超声延迟线和表面波超声延迟线,按其传输介质的种类可分为固体超声延迟线和液体超声延迟线等。

#### 体波超声延迟线

bulk ultrasonic delay line

利用超声波在传输介质内部传播的一类延迟线。

由于超声波在传输介质内部传播,因此在传播过程中较难对它进行控制和处理(例如开关、改变延时、改变幅度等)。

根据波长和传输介质的尺寸,超声波在传输介质内部传播可以有很多模式,有些模是非色散的,有些模在一定频率范围内是色散的。

体波超声延迟线的应用,主要限于无源色散和非色散延时。

另参见“超声”(章)“体声波延迟线”。

#### 液体超声延迟线

liquid ultrasonic delay line

以液体为传输介质的超声延迟线。

液体超声延迟线的传输介质与换能器之间的耦合容易,所以它是较早发展和利用的;但由于笨重,怕振动,带宽较窄,已被固体超声延迟线所代替。

通常采用的传输介质是水(可加一定量的酒精、甲醇、乙二醇等)和水银。换能器常用石英晶体。

#### 固体超声延迟线

solid ultrasonic delay line

以固体为传输介质的超声延迟线。

常用的传输介质有玻璃、熔石英以及有一定延展方向的金属合金(如铝镁合金、弹簧钢、镍等)。其形状可呈块状、带状、丝状等。换能器材料常用石英晶体、铌酸锂晶体,以及钛酸钡、铅钛酸铅、铌酸钾钠等压电陶瓷。

### 磁致伸缩延迟线

magnetostrictive delay line

利用铁磁材料的磁致伸缩效应来实现电信号延迟的一种延迟线。

在丝状铁磁材料上套上二个相隔一定距离的线圈,由于铁磁材料的磁致伸缩效应,当一线圈(称输入换能器)加电流时就有弹性波在丝状铁磁材料中产生,当弹性波通过另一线圈(称输出换能器)时就在该线圈上感应出相应的电压。通常,通过线圈的那部分丝状铁磁材料给以一定的偏磁,以获得最佳响应。

磁致伸缩延迟线具有延时调节方便、抽头容易等优点,但其带宽较窄。延时可达数千微秒。

### 非色散超声延迟线

nondispersive ultrasonic delay line

延时不随频率变化的超声延迟线。

### 色散超声延迟线

dispersive ultrasonic delay line

延时随频率按一定规律变化的超声延迟线。

### 多角形超声延迟线

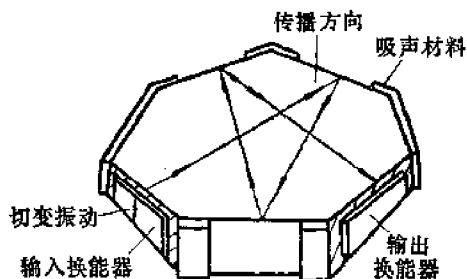
polygonal ultrasonic delay line

传输介质呈多角形,由相互间为一定夹角的许多侧平面及相互平行的上下两个平面构成,侧平面用来反射超声波,其中两个侧面贴有电声换能器,见图示。

工作频率在5~100兆赫,延时可达数毫秒。

传输介质通常用熔石英。换能器通常用厚度切变振动模式的石英晶体或铌酸锂晶

体,质点振动方向垂直于传输介质的上下二面,以避免传播模式的转换。



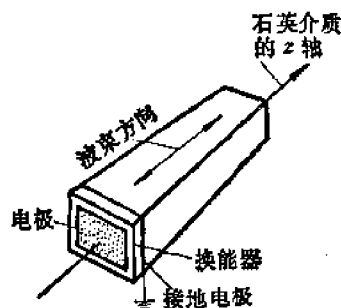
多角形超声延迟线示意图

### 回波超声延迟线

echo ultrasonic delay line

系用棒状传输介质,使超声脉冲在其二端来回反射,形成输出为一串延时间隔相等、幅度按指数衰减的脉冲列的超声延迟线。图示为单端回波超声延迟线。

传输介质常用熔石英和单晶石英。当用单晶石英作传输介质时,传播方向常选在 $z$ 轴。换能器常选用 $X$ 切割的石英晶体。



单端回波超声延迟线示意图

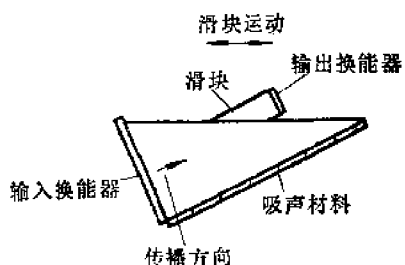
### 可变超声延迟线

variable ultrasonic delay line

延迟时间在一定的范围内可人为调节的超声延迟线。其具体形式很多,基本结构如图示。

可变超声延迟线与一般不可变超声延迟线的不同之处是增加了滑块及滑块与传输介质之间的液体耦合层。当滑块移动时,延迟时间就有相应的改变。滑块和液体耦合层对切变波的衰减应尽量小。

可变超声延迟线带宽可达 40~60%。



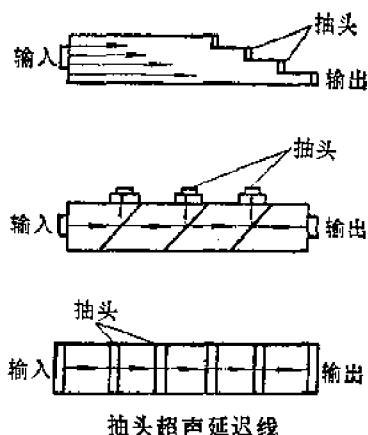
可变超声延迟线的基本结构

### 抽头超声延迟线

tapped ultrasonic delay line

指单一超声波传输通道上有二个以上输出的超声延迟线。型式如图示。

一般说来，抽头超声延迟线后面抽头的性能要受前面抽头的影响。

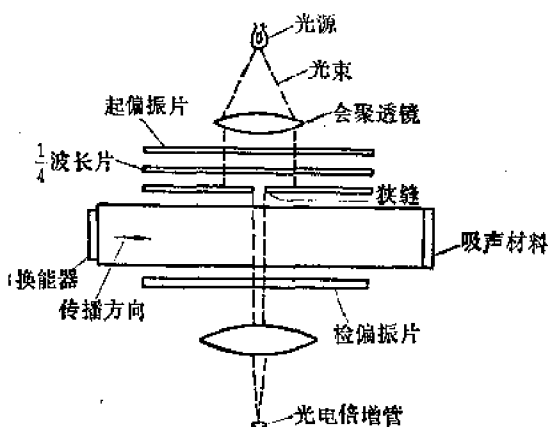


抽头超声延迟线

### 光弹性延迟线

photoelastic delay line

利用超声波对光束进行调制这一效应而



光弹性延迟线的典型装置

设计的延迟线。典型的装置如图示。

光弹性延迟线可以构成抽头延迟线、可变延迟线、相关器等。

超声传输介质最常用的是熔石英和水。换能器通常用石英晶体或铌酸钾钠。

现有光弹性延迟线的工作频率为 10~120 兆赫，延时达 100 微秒。

### 扭转波超声延迟线

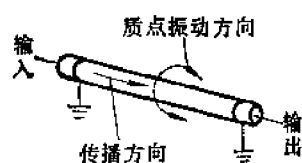
torsional ultrasonic delay line

这种超声延迟线的特点是，丝状（圆柱状）传输介质中质点振动在圆周的切向，而传播在轴向。

在丝状传输介质内传播的扭转波有色散模和非色散模。

在截止频率  $f_c = \frac{5.136}{\pi} \frac{V_t}{d}$  以下仅能传播非色散模。式中  $V_t$  为传输介质的横波速度， $d$  为传输介质的直径。

传输介质一般用金属丝状材料。换能器常用铁磁材料（磁致伸缩扭转波换能器）和压电材料（压电扭转波换能器）。



扭转波超声延迟线示意图

### 切变波带状超声延迟线

shear strip ultrasonic delay line

这种超声延迟线的特点是，在带状传输介质中质点振动在带条的宽度方向，而传播在带条的长度方向。

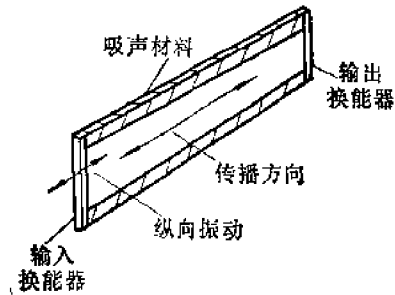
在带状介质内传播的切变波有色散模和非色散模。

在截止频率  $f_c = 0.5 \frac{V_t}{h}$  以下仅能传播非色散模。式中  $V_t$  为传输介质的横波速度， $h$  为传输介质的厚度。

传输介质常用铝镁合金和弹簧钢材料。



工作频率 10 兆赫以下可用铝镁合金, 更高的频率用弹簧钢。带条宽度取 10~20 个波长。换能器多数采用锆钛酸铅等压电陶瓷材料, 其极化在长度方向, 信号加于厚度方向以产生厚度切变振动。



切变波带状超声延迟线示意图

### 丝状色散超声延迟线

wire dispersive ultrasonic delay line

这种超声延迟线在丝状(圆柱状)传输介质中传播的超声波速度随频率而异, 因而延时随频率而变化。

在丝状传输介质中可激励很多模式, 通常取用一次纵波模。其延时-频率特性见图 1。在拐点  $f_i$  附近的  $\frac{\Delta f}{f_i} \leq 10\%$  内有近似线性的延时-频率特性, 可用于线性调频脉冲压缩系统中。

丝状传输介质一般采用铝合金丝和钢

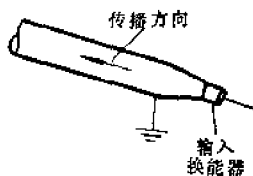


图 1 丝状色散超声延迟线示意图

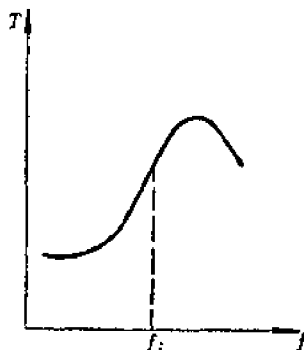


图 2 丝状色散超声延迟线的延时-频率特性

丝。换能器呈圆柱形, 一般由压电陶瓷制成, 作厚度振动。

丝状色散超声延迟线的缺点是工作频率不高(一般在 3 兆赫以下), 带宽窄(一般小于 300 千赫), 不易匹配, 因而较少使用。

### 带状色散超声延迟线

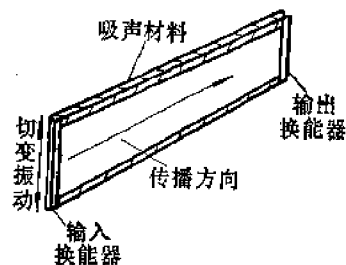
strip dispersive ultrasonic delay line

这种超声延迟线在带状传输介质中传播的超声波速度随频率而异, 因而延时随频率而变化。

在带状传输介质中可激励很多模式, 通常取用一次纵波模, 其延时-频率特性与丝状色散超声延迟线相似。

传输介质在工作频率 10 兆赫以下可用铝镁合金, 更高的频率用弹簧钢。带条宽度取 10~20 个波长。换能器多数采用锆钛酸铅和铌酸钾钠等压电陶瓷材料, 呈直角矩形状, 极化在厚度方向, 信号也加于厚度方向, 作厚度方向振动。

另参见“超声”(章)“带状色散延迟线”。



带状色散超声延迟线示意图

### 阶梯带状色散超声延迟线

step tapering strip dispersive ultrasonic delay line

带状传输介质的厚度沿长度方向呈阶梯变化的带状色散超声延迟线。其目的是提高带状色散超声延迟线的带宽。

根据延时-频率特性的线性范围、非线性偏离等要求, 利用电子计算机, 运用线性规划方法可算出每节厚度和长度。一般可获得

$\frac{\Delta f}{f_0}$  的线性范围大于 30%。节数一般取 3~5 节。

当然也可利用上述方法获得特定的延时-频率特性(例如二次方曲线等)。

传输介质材料和换能器等与带状色散超声延迟线相同。



阶梯带状色散超声延迟线

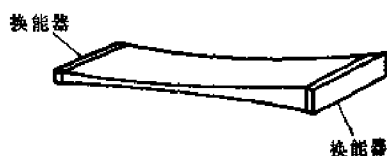
### 渐变带状色散超声延迟线

smooth tapering strip dispersive delay line

带状传输介质的厚度按一定规律渐变的带状色散超声延迟线。其目的是提高带状色散超声延迟线的带宽。

当阶梯带状传输介质的节数很多时,通过阶梯中点作一光滑曲线即为所需的渐变规律。

传输介质材料和换能器等与带状色散超声延迟线相同。



渐变带状色散超声延迟线

### 垂直衍射色散超声延迟线

perpendicular diffraction dispersive ultrasonic delay line

如图所示,这种色散超声延迟线由  $N$  个发送换能器组成辐射阵,  $M$  个接收换能器组成接收阵,二阵距离很近,使接收阵处在辐射阵的近场区内并互相垂直。它使不同频率的信号通过不同的传输路径而具有线性-延时特性。

每个换能器都作厚度切变振动,其尺寸在  $z$  方向很大。

发送换能器位置坐标

$$x_n = \sqrt{x_1^2 + 2c(n-1)} \quad (n=1, 2, \dots, N)$$

接收换能器位置坐标

$$y_m = \sqrt{y_1^2 + 2c(m-1)} \quad (m=1, 2, \dots, M)$$

$x_1, y_1$  满足

$$x_1^2 + y_1^2 = f_1^2 \left( \frac{c}{v_s} \right)^2 - 2c(N-1)$$

换能器数目

$$1 \leq N < 1 + \frac{1}{2} \frac{\Delta \tau}{f_2 - f_1} \left( f_1^2 - \frac{f_2^2}{4} \right)$$

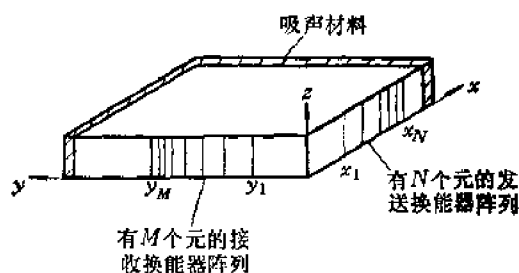
$$M - N = \frac{1}{2} (f_1 + f_2) \Delta \tau$$

在上列各式中,  $c = v_s^2 \frac{\Delta \tau}{f_2 - f_1}$ ,  $v_s$  为

传输介质的横波速度;  $\Delta \tau$  为所要求的线性延时变化;  $f_1$  和  $f_2$  是与线性延时变化  $\Delta \tau$  所对应的低端和高端频率。

传输介质一般采用低声损耗的玻璃和熔石英材料。换能器一般采用  $y$  切割的石英晶体,利用照相光刻方法制成所需的阵列。

垂直衍射色散超声延迟线能有较高的工作频率和较大的带宽。工作频率可达 20~100 兆赫,带宽可达 50%。色散延时受传输介质尺寸的限制,一般以数十微秒为宜。



垂直衍射色散超声延迟线

### 楔形衍射色散超声延迟线

wedge diffraction dispersive ultrasonic delay line

如图所示,这种色散超声延迟线系利用楔形传输介质,接收换能器阵列( $M$ 个)在面

积较大的发送换能器的近场。它使不同频率的信号通过不同的传输路径而具有线性延时-频率特性。

接收换能器阵元的位置分布为

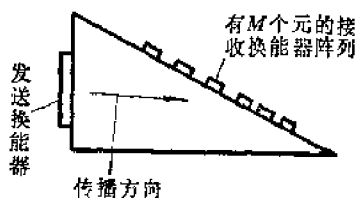
$$D_m = v \csc \theta \{ (f_2^2 K^2 + 2mK)^{1/2} - f_1 K \} + D_0 \\ (m = 1, 2, \dots, M)$$

阵元数目

$$M = \frac{K}{2} (f_2^2 - f_1^2) + 1$$

在上列两式中,  $D_m$  是第  $m$  个阵元到某一任意点  $D_0$  的距离;  $f_1$  是所需色散频带的低端;  $f_2$  是高端;  $v$  是传输介质中的声速;  $K$  是色散延时对带宽的斜率;  $\theta$  是发送和接收换能器之间的角度 (一般取  $15^\circ \sim 60^\circ$ )。

传输介质常用低声损耗的玻璃和熔石英材料。换能器用石英晶体, 接收换能器阵列是用照相光刻方法制得的。



楔形衍射色散超声延迟线

### 因姆青色散超声延迟线

IMCON dispersive ultrasonic delay line

是在非色散模的切变波带状延迟线的带条表面上刻蚀 (光刻法) 双栅格阵, 以反射切变波而获得色散特性的一种延迟线。

栅格线与超声波传播方向成  $45^\circ$  角。

具有线性延时-频率特性的栅格线 (宽度为  $\delta x$ ) 位置坐标是

$$x_n = \sqrt{x_1^2 + 2c(n-1)} \\ (n = 1, 2, \dots, N)$$

刻蚀深度

$$\delta h = \frac{h}{f_0 \sqrt{s/2}}$$

最佳栅格宽度

$$d = v_s \sqrt{s}$$

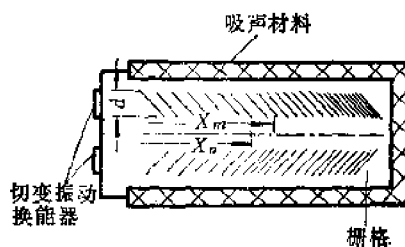
栅格线数目

$$N = f_0 \Delta \tau / v_s + 1$$

在上列各式中,  $c = sv_s^2/2$ ;  $s = \Delta \tau / \Delta f$ ;  $f_0$  是中心频率;  $\Delta f$  是色散带宽;  $\Delta \tau$  是色散延时;  $v_s$  是传输介质的横波速度;  $h$  是传输介质的厚度。

传输介质一般用钢带材料 (有时也用铝合金和熔石英)。换能器一般用锆钛酸铅等压电陶瓷材料, 作厚度切变振动。

因姆青色散超声延迟线工作频率在 4~30 兆赫, 色散带宽可达 15 兆赫, 色散延时可达 320 微秒。



因姆青色散超声延迟线

### 表面声波延迟线

surface acoustic wave delay line

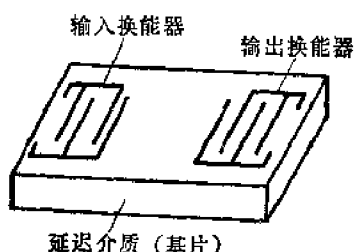
表面声波延迟线是利用表面声波技术把电信号延迟一段时间的器件。

表面声波延迟线由输入换能器、传输介质和输出换能器构成。通常利用半导体平面工艺在石英、铌酸锂等压电基片上制作两个金属的叉指换能器。当电信号从叉指输入换能器输入时, 就能在半波长的叉指间隙之间产生电场。由于电场的作用使压电基片表面产生形变, 激励出表面声波。这种声波沿着基片表面传播, 到达输出叉指换能器时, 由于压电效应又将声信号转换成电信号, 从而实现了电信号的延迟。

表面声波延迟线的工作频率一般可做到几十兆赫至几百兆赫或更高, 相对带宽可达百分之几十, 延时范围从几微秒至几十微秒。表面声波延迟线还具有体积小、损耗低,

以及可以方便地对其延迟信号抽样等优点。

表面声波延迟线可以做成固定、可变、色散、抽头等类型。



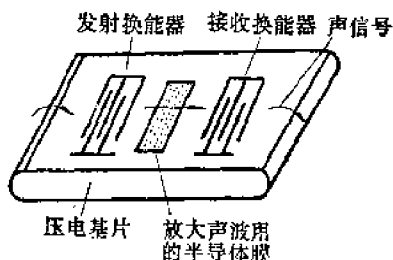
表面声波延迟线

### 环绕式表面声波延迟线

circulating surface acoustic wave delay line

它是让表面声波在基片上沿同一路径或不同路径多次环绕运行,以便在小块基片上获得较长的延迟时间的一种表面声波延迟线。

图示为沿同一路径环绕运行的结构形式。沿不同路径环绕运行的则有绕图示基片作螺旋形运行的,或绕一个圆盘上下面运行的,等等。当配置表面声波放大器时,有可能使延迟时间达到几毫秒。



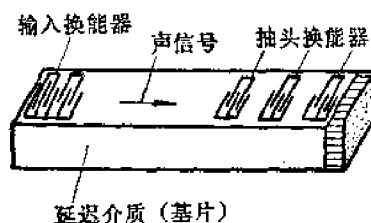
环绕式表面声波延迟线

### 表面声波抽头延迟线

tapped surface acoustic wave delay line

在表面声波延迟线的声波传播路径上(基体表面)制作一系列的抽头叉指换能器,以对信号按所需的延迟、相位和幅度进行取样输出,这种延迟线叫表面声波抽头延迟线,见图示。

表面声波抽头延迟线有广泛的用途,例如它可以用作编程的相位编码器,用作横向滤波器等。

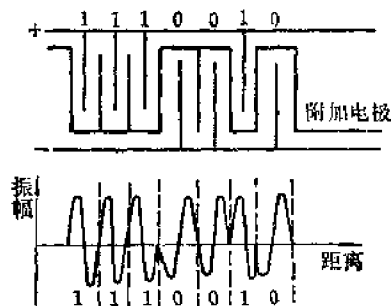


表面声波抽头延迟线

### 表面声波数字延迟线

digital surface acoustic wave delay line

将均匀叉指换能器的电极指条的极性 or 相位按一定数码形式变化,例如使相邻指条的极性倒转(相位改变 $180^\circ$ ),并以这个不同相位分别表示数字编码中的“1”和“0”,则当换能器上加上信号时只有相应数码的波形输出(如图所示),这种对特定信号起延迟作用的表面声波延迟线称为表面声波数字(或编码)延迟线。



带有附加电极的由相位倒转单元组成的表面声波编码延迟线换能器(上)及其相应数码波形输出(下)

### 表面声波色散延迟线

surface acoustic wave dispersive delay line

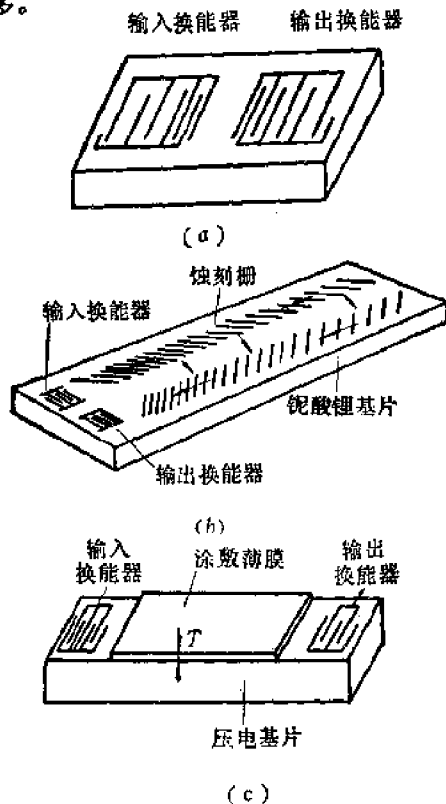
指对不同频率的信号具有不同的延时的表面声波延迟线。获得这种色散特性的方法不一,分述如下。

图(a)所示的表面声波色散延迟线,其换能器的金属叉指电极的间隙按某一函数关

系变化,且输入换能器和输出换能器对同一参考平面按镜像对称放置。这样,高频声波在指条间隔小的部分激发和检测,低频声波在指条间隔大的部分激发和检测,从而获得低频信号延迟比高频信号大的色散特性。

图(b)所示的表面声波色散延迟线,在基片表面上刻蚀二列具有特定夹角的栅格槽,栅格槽的间隙按某一函数关系变化以使低频声波在栅格槽间隔大的部分反射到输出换能器,高频声波在栅格槽间隔小的部分反射到输出换能器,从而获得低频信号延迟比高频信号大的色散特性。

图(c)所示的另一种获得色散特性的方法,是将慢声速(相对于基片而言)的材料涂敷在表面声波延迟线二换能器之间的压电基片上。这样,在某一频段内,对于波长远大于涂敷层厚度 $T$ 的表面声波,在涂敷层区间传播具有不同的波速,于是声波通过涂敷层区域就色散了。此类色散延迟线应用实例不多。



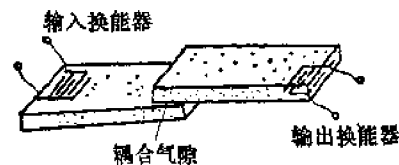
### 表面声波可变延迟线

variable surface acoustic wave delay line

延时可以变化的表面声波延迟线。

如图所示,两片表面声波延迟线搭叠放置,两者间有略呈楔形的气隙,表面声波借二基片间的静电场作用通过气隙从一片耦合到另一片。如将两片延迟线相对移动,则改变位于一片延迟线上的输入换能器和位于另一片延迟线上的输出换能器之间的距离,即改变了表面声波的传输路径长度,从而也就改变了延时。

这种延迟线工作于100兆赫,非色散可变延时可达6~7微秒,总介入损耗低于17分贝。



基片搭叠式表面声波可变延迟线

### 旋磁延迟线

gyromagnetic delay line

指利用强磁体(常用钇铁石榴石单晶)能激励、传播和检测磁波、磁弹性波和弹性波等慢波的特性制成的延迟线。磁波和磁弹性波固有磁调延迟和色散的特点,因此这类延迟线最宜用作微波磁调和色散延迟线。

### 延时

delay time

信号经传输线或延迟线传输,输出信号与输入信号在时间上有一定延迟,称为延时。

按传输信号的不同,通常有三种延时定义。

1. 相延时——传输单频信号的延时

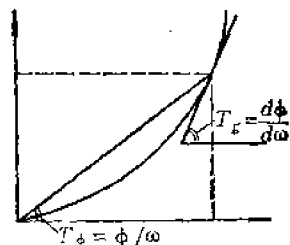
$$T_{\phi} = \phi / \omega$$

2. 群延时——传输复合频率信号的延时

$$T_g = d\phi/d\omega$$

上列两式中  $\phi$  为线路引起的相移;  $\omega$  为信号角频率。

两者关系如图所示。



相延时-群延时的关系

当相移与频率成线性关系时,两者相等,

即

$$T_\phi = T_g$$

3. 脉冲延时——传输脉冲信号时的延时,通常以输入脉冲和输出脉冲前沿半幅度点之间的时间间隔来度量。

#### 延时温度系数

temperature coefficient of delay

温度变化  $1^\circ\text{C}$  所引起的延时相对变化量,即

$$\alpha_T = \frac{\Delta T}{T \Delta t}$$

式中  $\alpha_T$ ——延时温度系数;

$\Delta T$ ——延时变化量;

$T$ ——延迟线延迟时间;

$\Delta t$ ——温度变化量。

在非线性情况下,取某一温度范围内的平均系数。

#### 上升时间

rise time

脉冲前沿的一种度量,即脉冲幅度从一规定电平增加到另一规定电平(通常从10%到90%)所经过的时间。

脉冲信号经传输线或延迟线传输后,前沿上升时间的增加为

$$\tau = \sqrt{\tau_{\text{输出}}^2 - \tau_{\text{输入}}^2}$$

$\tau_{\text{输出}}$ ,  $\tau_{\text{输入}}$  分别为输出脉冲和输入脉冲的上升时间。

当传输线或延迟线有近似的线性相频特

性时,

$$\tau \approx 0.35/\Delta f$$

$\Delta f$  为线路的3分贝带宽。

#### 延时上升比

time delay to rise time ratio

电磁延迟线的延时与上升时间之比值。

它是衡量电磁延迟线品质的一个度量。

#### 延迟畸变

delay distortion

电磁延迟线相移特性非线性所引起的信号畸变。

延迟脉冲信号时,延迟畸变呈奇对称,如线路延时随频率增加而下降时,脉冲前沿下冲,后沿上冲。反之,如线路延时随频率增加而上升时,脉冲前沿上冲,后沿下冲。

#### 脉冲传输系数

pulse transmission coefficient

脉冲信号经传输线或延迟线传输后幅度的下降率,即

$$K = \frac{E_i - E_o}{E_i} 100\%$$

$E_i$ ,  $E_o$  分别为输入脉冲和输出脉冲的幅度。

#### 插入损耗

insertion loss

信号源直接(未接入延迟线)传递给负载的功率与信号源通过延迟线(接入延迟线)传递给同一负载的功率之比。

#### 馈通信号

feed through signal

是输入端和输出端直接耦合,输入信号不经延迟而直接输出形成的信号。

#### 泄漏信号

leakage signal

即“馈通信号”。

#### 虚假信号

spurious signal

在超声延迟线中,由于激励模式不纯或反射等原因,由输出端输出的不需要的信号。

### 三、超导电技术

#### 超导电技术

superconducting technology

一般的金属材料,其电阻率随温度下降而下降,在接近绝对温度范围内,其电阻率将趋近于一有限的数值。但是,对某些金属元素、合金和化合物则不然,它们在某一特定的温度  $T_c$  下,其电阻将突然消失,这种现象叫超导电现象。这种电阻突然消失的现象,是由于物质转变到了一种新的状态。这种以零电阻为特征的金属态,就称为超导态。

具有超导电性的物质,称作超导体。自1911年发现超导电性现象以来,已经发现有锡、铅等近30种金属元素和千种以上合金以及化合物具有超导电性。随着研究工作的进展,超导元素、合金和化合物的数目还在不断增加。

超导体处在超导态时,一方面具有零电阻的特征,同时还具有抗磁性能,即不允许磁力线穿过大块超导体。这是超导体两个完全独立的特性。根据目前测量,超导体在超导态时,即使有电阻,其电阻率也小于  $10^{-26}$  欧姆·厘米,所以与铜相比就可以认为它的直流电阻是零;但在高频交流情况下,便不具有完全导电性,其损耗随着频率的增高而越趋显著,到红外区域时,则与正常导体实际上是相同了。

近十几年来,随着超导材料和低温技术的发展,超导电技术得到了迅速的发展。利用超导体的一些特性,如完全导电性、完全抗磁性、隧道效应,以及超导态和正常态之间性质上的差异等性质,在电工和电子技术等领域中已得到了实际应用。

#### 超导电性

superconductivity

见“超导电技术”。

#### 正常态

normal state

见“超导电技术”。

#### 超导态

superconducting state

见“超导电技术”。

#### 超导体

superconductor

见“超导电技术”。

#### 临界温度

critical temperature

在某一确定的温度  $T_c$  下,超导体将从具有一定电阻的正常态,转变为电阻为零的超导态,这个发生转变时的温度  $T_c$  称为临界温度。目前发现的超导体临界温度在  $0.0002^\circ\text{K}$  (铊)~ $22.3^\circ\text{K}$  ( $\text{Nb}_3\text{Ge}$ ) 之间。

#### 临界磁场

critical field

已处于临界温度  $T_c$  以下的超导体,在外加磁场小于某一确定数值  $H_c$  时,它仍然是超导的;当外加磁场增高到  $H_c$  值以上时,超导体便从超导态恢复到正常态。致使超导体从超导态转变为正常态的磁场称为临界磁场。

#### 临界电流

critical current

在一定的温度和磁场下,某一超导体电流达到一定数值后,超导体的超导电性便被破坏而恢复到正常态。这个电流称为该超导体的临界电流  $I_c$ 。超导体临界电流随磁场增

大而减小。

临界电流、临界温度和临界磁场是超导体的三个重要参数。

### 完全导电性

complete conductivity

当超导体处于超导态时,其直流电阻为零,这时若在超导环路中感应一个持续电流,则该电流就将长期持续地流动。这种性质叫完全导电性,或称零电阻现象。

### 持续电流

persistent current

见“完全导电性”。

### 完全抗磁性

complete diamagnetism

对于超导体,当将它冷却到临界温度以下转变为超导态时,已渗透到物体内的磁通将全部被排斥出来,或者对已处于超导态的超导体外加一磁场,磁通亦将无法穿透超导体,也就是说超导体内的磁感应强度是永远为零。超导体的这种完全抗磁性又称为迈斯纳效应。它和完全导电性是超导体的两个独立的特性。处于超导态的物体,外加磁场所以无法穿透到它的内部去或被排斥出来,是因为在物体的表面上感生一个分布和大小刚好使其内部磁通为零的抗磁超导电流(也称屏蔽电流)的缘故。

### 屏蔽电流

shielding current

见“完全抗磁性”。

### 迈斯纳效应

Meissner effect

即“完全抗磁性”。

### 超导隧道效应

superconductive tunnel effect

超导隧道效应可分为正常电子隧道效应和电子对隧道效应,后者常称为约瑟夫逊效应。

我们知道,超导体中存在两类电子,即

正常电子和超导电子对。超导电子流动没有电阻,不产生电压。如果在两个超导体中间夹以一绝缘层,当绝缘层很厚(如大于几千埃)时,不论超导电子或正常电子,均通不过绝缘层,因此电路中没有电流;当绝缘层厚度减小到几百埃或几十埃时,如在绝缘层两端加电压,则正常电子将穿过绝缘层,电路中就将出现电流,这种电流称正常电子的隧道电流,这种现象称正常电子隧道效应。图1所示是由两个不同超导体形成的隧道结的典型伏安曲线。

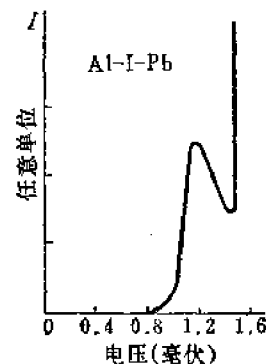


图1 由两个不同超导体形成的隧道结的典型伏安特性曲线

利用正常电子隧道效应,可做放大、振荡、检波、混频、微波和亚毫米波辐射的量子探测等应用。

当超导隧道结的绝缘层很薄(约10埃)时,超导电子也能通过绝缘层,宏观上表现为电流能够无阻地通过。当通过隧道结的电流小于某一临界值,一般是几十微安到几十毫安,在结上没有电位降,也就是在隧道结的伏安特性中,存在着一个零电压的电流。若超过这临界值,在结上将出现电位降,这时正常电子也参与导电,因此伏安特性将沿着负载线跳到正常电子隧道的曲线上,如图2所示。这种隧道结中有电流流过而不产生电位降的现象,称为直流约瑟夫逊效应。这种隧道电流,称为直流约瑟夫逊电流。

若在超导隧道结两端加一直流电压 $V$ ,



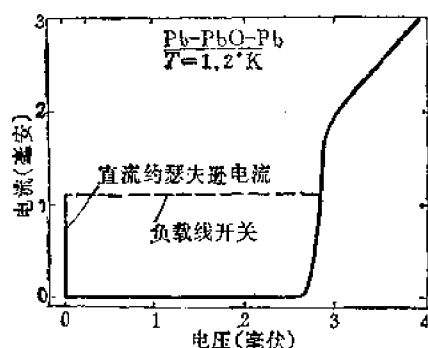


图2 Pb-PbO-Pb隧道结的伏安特性曲线

在隧道结两超导体之间将有高频交流电流通过,其频率与所加直流电压成正比,比例常数为  $483.6 \text{兆赫/微伏}$ 。这种高频电流能向外辐射电磁波或吸收电磁波的特性称为交流约瑟夫逊效应。产生这种现象,是由于在隧道结上有电压降时相位差将随时间而变化的缘故。

利用约瑟夫逊效应,可制作电磁波的探测装置,微小量的伏特计和磁强计,噪声温度计,电压基准,  $\frac{e}{h}$  的测定 ( $e$ ——电子电荷,  $h$ ——普朗克常数),以及参量放大等。

### 正常电子隧道效应

normal electron tunnel effect

见“超导隧道效应”。

### 约瑟夫逊效应

Josephson effect

见“超导隧道效应”。

### 直流约瑟夫逊效应

d. c. Josephson effect

见“超导隧道效应”。

### 交流约瑟夫逊效应

a. c. Josephson effect

见“超导隧道效应”。

### 薄膜隧道结

thin film tunnel junction

由两块被一极薄介质层(约10埃)分开的超导薄膜层(约几千埃)构成的一种约瑟夫逊隧道结,称为薄膜隧道结。制作这种

隧道结的关键在于制作两超导体间极薄而又均匀的介质层。隧道结的电阻率要求不超过0.1欧姆·毫米。利用薄膜工艺,在一块基片上,可制成包含有大量隧道结的阵列。这种隧道结宜于制作精确的电压源,但这种结制作工艺较复杂,寿命也较短。

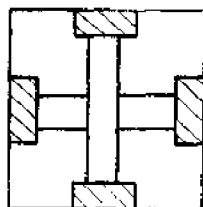


图1 交叉型薄膜隧道结

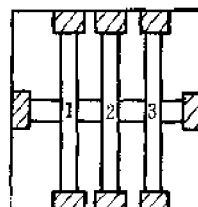


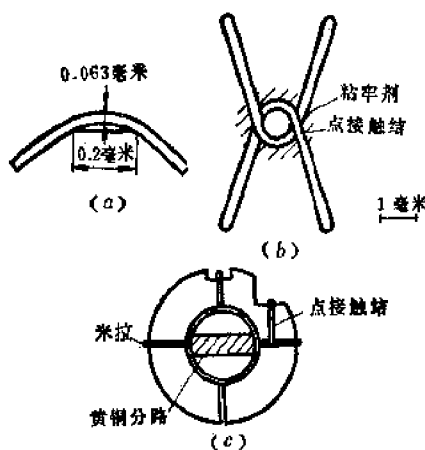
图2 在一块基板上制作的三个交叉型薄膜隧道结

### 点接触隧道结

point-contact tunnel junction

点接触结是一超导细线(有约一微米的细尖)和一超导的板或棒直接接触,并在接点处保持一定压力而形成的一种约瑟夫逊隧道结。

这种结制造较简单。由于它和电磁波有较大的耦合系数,所以适用于电磁波探测一类装置。但这类结对结点压力极为敏感,因此稳定性较差。



几种点接触隧道结

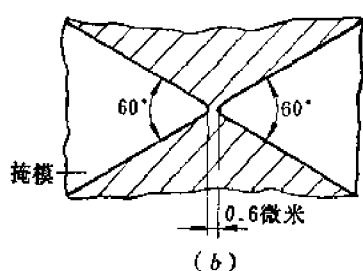
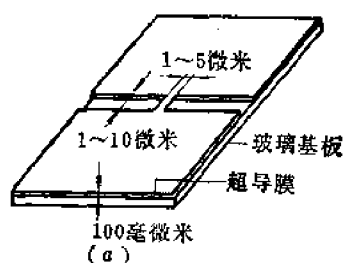
### 超导桥隧道结

superconducting bridge tunnel junction

超导桥隧道结是通过一狭窄的环节将两个超导体连接起来的一种约瑟夫逊结。如同

两个超导体间有一座“桥”一样。这个“桥”很窄，一般长、宽各约几个微米。

由于超导桥有一极狭窄的部分，所以制作较难，但结的稳定性较好。

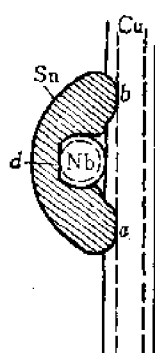


超导桥

### 焊滴隧道结

solder drop tunnel junction

焊滴结是在一根氧化了的超导细线上(如铌线)，滴上一滴普通的焊料(如钢、锡、铅等)而形成的一种约瑟夫逊结。



焊滴结

这种类型的结是最容易制作的，能经受从常温到液氮的反复冷热循环，但结的形状难以知道，无法预言它所具有的特性是单结、双结还是多结。

### 超导弱连接

superconducting weak link

在两块超导体之间以某种形式(如隧道、点接触、桥等)连接起来，形成弱连接(或称弱耦合)。其特点是，在一定的外界条件下，可以在两块超导体之间形成宏观量子相位差。由于弱连接有这样的特殊结构，所以也把它称做超导结。

### 超导弱耦合

superconducting weak coupling

见“超导弱连接”。

### 超导结

superconducting junction

见“超导弱连接”。

### 冷子管

cryotron

利用超导体从超导态转变到正常态时电阻要从零转变到有限的数值这种现象制作的器件，称为“冷子管”开关元件。

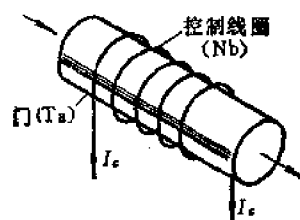
它由作门电路的输出端的“门带”和门电路的控制端的“控制带”组成。冷子管可用作电子计算机的逻辑开关元件及存储元件等。

### 线绕冷子管

wire-wound cryotron

这是一种利用磁场控制的电流开关器件。它由一临界磁场较低的门线和一临界磁场较高的材料绕制的控制线圈组成。

当控制线圈没有电流时，门线是超导态的，当控制线圈通过一定大小的电流时，它产生的磁场使门线从超导态转变到正常态，



线绕冷子管

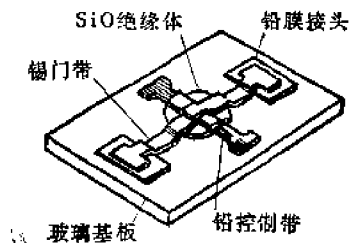
在操作过程中,控制线圈始终是超导的。

线绕冷子管可用作电子计算机的开关元件,它的操作速度约为  $10^{-8}$  秒。

### 交叉膜冷子管

crossed film cryotron (CFC)

这是一种通过磁场控制的电流开关器件。它的门带和控制带垂直相交,中间由一绝缘介质隔开。门带是临界磁场较低的超导薄膜;控制带是临界磁场较高的超导薄膜。交叉膜冷子管的操作温度是稍低于门带的临界温度和远低于控制带的临界温度的。在恒定的门电流下,门电阻是随着控制带电流而变化的,当控制带电流产生的磁场超过门带的临界磁场值时,门带出现电阻。这种冷子管比线绕冷子管操作速度更快。

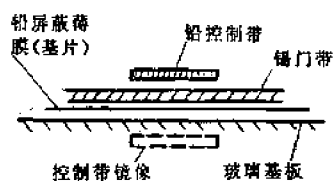


交叉膜冷子管

### 屏蔽式交叉膜冷子管

shielded crossed film cryotron

这是一种通过磁场控制的电流开关器件。整个“交叉膜冷子管”电路淀积在一块超导的屏蔽基片上。由于基片的镜象效应,使得除了在导体和基片之间之外其它各处的电流都为零。这就大大地减小了所有紧靠屏蔽基片的导体的自感,从而提高了器件的操作速度,开关时间大约只需  $10^{-8}$  秒左右。



屏蔽式交叉膜冷子管的截面图

### 薄膜冷子管

thin film cryotron

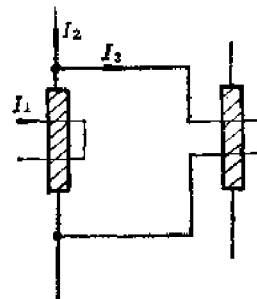
利用薄膜工艺制作的冷子管称薄膜冷子管。例如“交叉膜冷子管”、“屏蔽式交叉膜冷子管”等。

### 交叉膜冷子管存储电路

CFC memory circuit

是由一冷子管和一并联的超导电流通路构成一个最简单的超导存储电路。

开始通入  $I_2$  时,若左边门带阻抗远小于右边控制带阻抗,则  $I_2$  通过左边门带。当左边控制带有大于临界控制电流  $I_1$  通过时,则左边门带进入有阻状态;这时流过左边门带的电流急剧减小,而  $I_3$  就增大。当  $I_3 = I_2$  时,右边门带进入了有阻状态。这时若将左边控制带电流  $I_1$  取消,它的门带和右边的控制带所组成的超导环路内就维持一持续电流。这是兼有存储机能的基本逻辑电路,利用它可以构成许多复杂的电路。



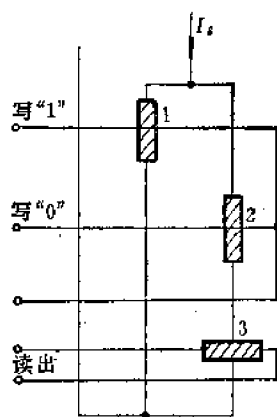
交叉膜冷子管存储单元

### 交叉膜冷子管触发电路

CFC flip-flop circuit

原理如图示。冷子管 3 是用来读出的。首先在它的门带上通一读出电流。当有“1”脉冲输入时,冷子管 1 进入有阻状态,  $I_1$  从冷子管 2 流过,这时冷子管 3 的控制电流超过了临界控制电流,所以它的门带进入有阻状态,此时在读出电路有信号输出。当写“0”的脉冲输入时,冷子管 2 的门带进入有阻状态,  $I_1$  从冷子管 1 流过。冷子管 3 的

控制电流小于它的临界值, 所以它的门带是超导的, 此时读出电路无信号输出。信息还可存储于由冷子管 1、2 的门带和冷子管 3 的控制带组成的回路内。

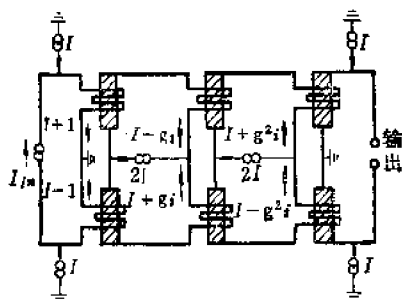


交叉膜冷子管触发电路

### 薄膜冷子管放大器

thin film cryotron amplifier

利用薄膜冷子管, 采用级联的办法, 可以组成低噪声高增益的线性放大器。其原理如图。这种放大器的电压灵敏度和电流灵敏度都很高。图示电路是一种平衡式交叉膜冷子管放大电路。



平衡式交叉膜冷子管放大器

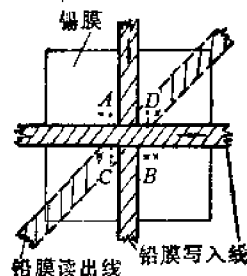
### 持续电流存储元件

persistent current memory cell

它是利用在超导环路中, 当感应有一电流时, 它将永远持续下去的完全导电性原理制造的一种器件。它是薄膜冷子管的一种应用。

例如, 在一连续的超导膜上, 垂直放置

两根驱动线, 在超导膜的另一边放置一根与驱动线成  $45^\circ$  角的读出线。驱动线、超导膜、读出线互相绝缘。当在两个驱动线上有如图所示的方向的电流通过时, 它们所产生的磁场在  $A$ 、 $B$  点是相互加强的, 所以选择适当大小振幅的驱动电流, 使在  $A$ 、 $B$  的磁场超过超导膜的临界磁场, 则在  $A$ 、 $B$  上将发生磁通线穿透, 而在读出线上有输出信号 (对应“1”态)。驱动电流取消后, 穿透的磁通线被冻结形成一持续电流, 而信号被存储, 所以称持续电流存储。当一驱动线的电流方向改变时, 磁场相互加强点是  $C$ 、 $D$ , 这时磁通线穿透在  $C$ 、 $D$ , 读出线没有输出信号 (对应“0”态)。这种器件称连续膜存储器。



连续膜存储器

### 连续膜存储器

continuous-film memory (CFM)

见“持续电流存储元件”。

### 隧道冷子管

tunnel cryotron

这是隧道结与冷子管结合的一种器件。它利用一个约瑟夫逊结来代替交叉膜冷子管的门带, 构成一种隧道冷子管。

当控制带有电流通过时, 它所产生的磁场影响通过结的最大超导电流  $I_c$ 。从隧道冷子管门电路的伏安特性曲线可见, 如把工作点调到  $A$  点, 这时当控制带上有一很小的电流脉冲流过时, 将把  $I_c$  降低到低于操作电流。因此, 器件的操作点从  $A$  跳到  $B$  点。电压约有一毫伏。这种隧道冷子管可作电子计算机的元件, 其开关时间约  $10^{-10}$  秒, 比普

通冷子管速度快。但是在制造工艺上还有很多困难,目前还处于试验研制阶段。

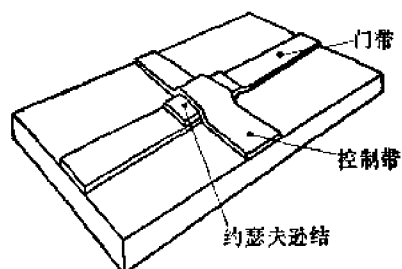


图1 隧道冷子管

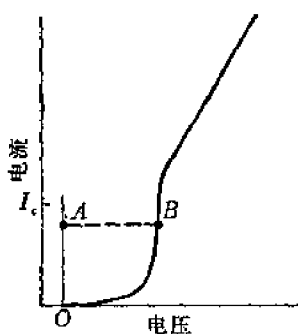


图2 隧道冷子管门电路的伏安特性曲线  
(操作点是A、B)

### 超导通信电缆

superconducting communication cable

用超导体制作的通信电缆,就是超导通信电缆。其特点有:

1. 远距离传输时,由于导体电阻为零,基本上无衰减,因此可不设增音站;
2. 由于超导通信电缆系同轴结构,因此导体内无磁场和电阻。可进行极高频通信,每根超导通信电缆可比常规通信电缆容纳更多的通信路数。

此外,由于超导通信电缆的介电损耗很小,所以呈现理想线路的性能。因此将获得更多的新应用。

超导电缆可用于高功率脉冲传输线路中,可用作无噪声的高速逻辑元件。由于响应特性好,还可用作脉冲回流器,等等。

### 超导延迟线

superconducting delay line

这是一种超导小型同轴电缆。例如,内

导体用铌线,介质用氟塑料和外导体用挤压铅管或编织的铌线制作的同轴电缆。

它是解决毫微秒及亚毫微秒脉冲信号传输、延迟和储存的有效方法。被传输的信号无明显的畸变,特别是在要求低噪声的场合,更显得优越。它可用于毫微秒、亚毫微秒脉冲示波器和电子计算机的高速逻辑电路储存元件中。除信号几乎无畸变外,还大大加快了储存速率。

### 超导磁体

superconducting magnet

利用强磁场超导材料在高场下可以无阻地承载一很大的电流密度的特性,绕成超导磁体,是当代超导技术应用的最重要方面。和普通的水冷铜绕磁体相比,它具有高场强、耗能低、轻便、稳定以及经济等优点,已逐渐取代直流常规磁体,在高能物理、电工、受控、仪器制造,以及航天技术中获得应用。在电子技术中,可用超导磁体测量磁性材料,做量子放大器磁体等。

目前场强在100千高斯以下的超导磁体已有产品。大体上80千高斯以下的用Nb-Ti合金;80~120千高斯的用Nb<sub>3</sub>Sn化合物;100~150千高斯的用V<sub>3</sub>Ga化合物绕制。

### 超导微带谐振器

superconducting microstrip resonator

通常的微波谐振器的微型化,由于将导致谐振腔品质因素的急剧下降,因而受到限制。但超导谐振器的品质因素可以做得很大,所以它有利于微波谐振器的集成化。

用超导材料铅,真空淀积在基片上,可做成微带超导谐振器;用涂有超导材料铅-锡的棒放在一塑料垫圈上,可做成同轴超导谐振器。这些谐振器,可统称为超导微带谐振器。它有损耗极低、封装密度较高、生产重复性好等优点。可用于制作各种滤波器和延迟电路等。

**毫米波和亚毫米波发生器**

millimeter and submillimeter wave generator

超导结可以用作频率在 5~1000 千兆赫范围内的相干辐射发生器, 所以亚毫米波波源可用超导结。

隧道结发射辐射功率约为  $10^{-11}$  瓦。但是从供应给它的直流功率来估计, 最大发射功率应有微瓦的数量级。这是隧道结和自由空间阻抗不匹配, 能量耦合效率太低 ( $\sim 0.01\%$ ) 所致。为此要改善结和自由空间的匹配。由于点接触结是开结构, 且能做到有相对高的电阻, 所以有较好的阻抗匹配。单个点接触结已达到  $10^{-8}$  瓦的发射功率。将结排成阵, 发射功率达  $2 \times 10^{-8}$  瓦。所以可能成为实验室内的亚毫米波波源。

**超导参量放大器**

superconducting parametric amplifier

在微波频率上, 表面阻抗的电阻部分和电抗部分是随外磁场而变化的。若改变某一段传输线表面阻抗的电抗部分, 则等效于电感这一参量的变化。基于这一原理, 利用超导体的抗磁效应, 可以制作超导微波参量放大器。

利用点接触结构成的约瑟夫逊振荡, 也有可能制作参量放大器。

**超导混频器**

superconducting mixer

如果用两种频率  $\omega_1$ ,  $\omega_2$  的微波照射超导结, 同时结的偏置电压为  $V_0$ , 则作用在结上的电压为

$$V_0 + v_1 \cos(\omega_1 t + \varphi_1) + v_2 \cos(\omega_2 t + \varphi_2)$$

其中  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$  各为两种微波的初始相位。通过结的超电流密度

$$j = j_c \sum_{k,l=-\infty}^{\infty} j_k \left( \frac{2ev_1}{\hbar\omega_1} \right) J_l \left( \frac{2ev_2}{\hbar\omega_2} \right) \times \sin[\omega_0 t + \theta_0 + k(\omega_1 t + \varphi_1) + l(\omega_2 t + \varphi_2)]$$

由此可知, 与单一微波辐照不同, 在  $I-V$  曲

线上除了  $\omega_0 + k\omega_1 = 0$  和  $\omega_0 + l\omega_2 = 0$  的电流梯级外, 还在  $\omega_0 + k\omega_1 + l\omega_2 = 0$  处出现电流梯级, 其中  $k$  和  $l$  为某个整数。

对亚毫米波来说, 超导结混频器比通常的非线性阻抗混频器优越。后者的混频振幅随谐波数  $n$  如  $1/n^2$  般地减小, 只能得到  $n$  等于 10 到 20 次的谐波混频。而超导结混频器的混频振幅随谐波数  $n$  的增加如贝塞尔函数般地减小, 谐波混频的  $n$  可以达到几百甚至上千。对亚毫米和远红外波来说, 这是一种很有希望的混频器件。

**超导变频器**

superconducting frequency converter

用超导结实现变频很简单。在偏置电位  $V_0 = \frac{\hbar}{2e}\omega_0$  下, 受频率为  $\omega_s$  的微波照射的点接触结的超电流密度为:

$$j = j_c \sum_{n=-\infty}^{\infty} j_n \left( \frac{2ev_s}{\hbar\omega_s} \right) \sin[(\omega_0 + n\omega_s)t + \theta_0]$$

上式右边均是交变超电流项。如果希望用  $L-C$  谐振电路 (谐振频率为  $\omega_{if}$ ) 取出中频信号, 只须调节偏置电压  $V_0$ , 使其满足  $\omega_{if} = \omega_0 + n\omega_s$  即可。在微波应用上, 超导结变频作用特别有吸引力, 因为可以避免超外差接收机中的本地振荡。用约瑟夫逊振荡作为本地振荡体现出来的超导结的变频作用, 可以省掉外加的本地振荡, 并且是可调的, 十分简便。

**超导天线**

superconducting antenna

超导天线利用超导材料在低于临界温度时电阻接近于零的特性, 可使天线损耗减小几个数量级, 从而可使辐射效率提高上百倍或更多。

超导天线的特点是:

1. 最主要的优点是有可能使天线小型化;
2. 电尺寸小的超导天线比同样尺寸的普通天线效率要高得多, 但它频带窄, 这使

得高效率天线在某些应用中有很局限性；

3. 电尺寸小的超导接收天线在损失带宽的情况下，可提高信噪比，而信噪比提高所得的好处远远超过带宽变窄的损失。

现在还不能用电尺寸小的超导天线取代常规的大天线，但可用来代替常温非超导小天线。由于常温小天线性能低劣，所以这种代替是有意义的。

由于超导体在高频下有交流损耗，因此在天线中，制造大功率超导发射天线是有困难的；但作为接收天线，其最佳频率也不超过 10 千兆赫，因为超过时损耗就很显著，而到达红外波段时超导电性则完全消失。

在低频或甚低频范围内（10 千赫左右），由于某些超导体交流损耗甚微，所以制造电尺寸小的超导磁偶极子天线，能提供高信噪比或进一步减小天线结构尺寸。

总之，超导天线有许多优点，但它要工作于 4.2°K 的低温下，从而需要一整套液化器、杜瓦瓶等致冷设备，这是它的不足之处。

### 超导辐射计

superconducting bolometer

这种辐射热探测装置的原理是利用超导体在超导转变温区中电阻明显地依赖于温度的特性这一性质。它以超导薄膜作为传感元件，当给薄膜通一常偏流，并处在转变温区时，由于吸收入射的辐射热，薄膜温度升高，引起电阻的急剧变化，再通过测量电阻的变化，遂测得入射的辐射热。

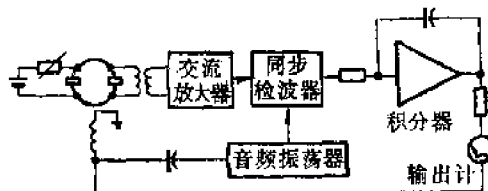
### 磁强计

flux meter

利用超导约瑟夫逊效应可以测量大约  $10^{-11}$  高斯的磁场变化。已在许多领域中应用。

例如，利用两个约瑟夫逊结并联构成一低感超导环，在环中加直流偏流或低频调制。超导环的临界电流或结两端的电压是环中磁

场的周期函数，测出电压的变化，便可知道磁场的变化，这种磁强计也称双结磁强计。如图所示。还有其他结构的磁强计。



双结磁强计

### 宽带低电平视频检测器

wide band, low level, visible frequency detector

超导结可用于微波直至远红外的检测，最直接的方法是观测辐照结后产生的电流梯级，从梯级发生处的电压和电流跃变高度确定辐射的频率和强度。但这种方法灵敏度不高，仅能测到功率为  $10^{-10}$  瓦的辐射。

为获得较高的灵敏度，用可调节的点接触结，运转到无滞后状态，所得如图 1 所示

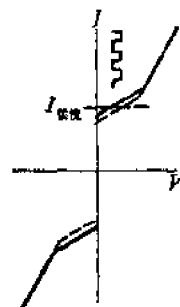


图 1 外加辐照信号引起最大直流约瑟夫逊电流的变化

的状态。外加辐照使得通过结的最大零电压电流减少，从而移至虚线位置。测量该减少值即可用做检测器。测量方法是：固定偏置电流在  $I-V$  曲线上临界电流附近的高微分电阻的点上，同时用一斩波器把辐照斩流为频率是 90 赫的入射信号，辐照将在此频率下导致一个越过结的电压响应（图 1 中右侧插图），这个电压经适当放大和整流，就作为检

测到的信号绘在记录纸上。图2为远红外检测器的实验简图。其性能为宽带低电平的, 灵敏度用等效噪声功率表示为  $10^{-18}$  瓦/赫<sup>1/2</sup>。

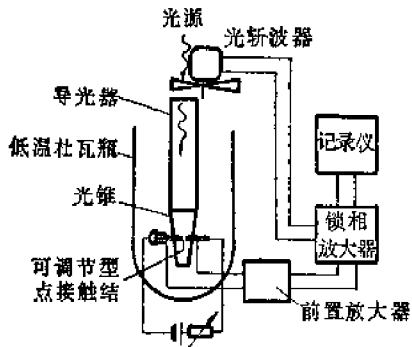


图2 利用约瑟夫逊结的远红外探测实验装置

### 频率分析计

frequency analyzer

超导结受到单色源辐照时, 在  $I-V$  曲线上, 呈现常电压电流梯级, 频率和第一个梯级处电压的关系为  $\omega = 2e/\hbar V$ , 量得电压即可确定频率。精确测出电压是精确确定频率的条件。目前用超导结所做伏特计一般可达到  $10^{-15}$  伏的精确度。这是一种方便的宽频带频率分析计。

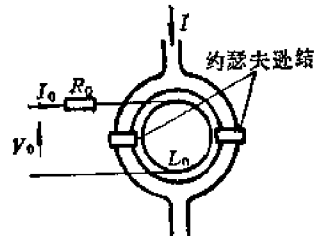
### 超导伏特计

superconducting voltmeter

利用约瑟夫逊效应测量微小电压, 可测出  $10^{-15}$  伏的电压, 时间常数为 1 秒。它是基于磁通量子化的原理制作的。假设有一电感为  $L_0$  的外施初级线圈与这超导环紧耦合, 并在初级线圈串联一电阻  $R_0$ , 如图所示。在超导环中产生一个磁通量子, 初级线圈所需要的电流  $I_0 = \Phi_0/L_0$ , 所需要的电压为:

$$V_0 = I_0 R_0 = \Phi_0 R_0 / L_0 = \Phi_0 / \tau_0$$

$\tau_0$  为初级电路的时间常数,  $nV_0$  的电压将引起最大零电压电流有  $n$  个振荡周期, 所以可以由计算振荡周期来测电压。对 1 秒的时间常数, 可求得电压为  $2 \times 10^{-15}$  伏。如果能测出一个振荡的 1%, 那么电压的灵敏度为  $10^{-17}$  伏。



简单的超导伏特计示意图



## 四、液 晶

### 液晶

liquid crystal

液晶就是液态晶体。

一般认为物质只有固体、液体和气体三种状态。这种看法并不完全正确，特别是对某些有机物来说，由固体变为液体并不是简单的转变，而要经过一个相的转变过程。例如，一有机物在 16°C 时熔化，76°C 时变为完全澄清的液体，而在 16~76°C 之间则呈现浑浊的液态。此时，一方面具有液体的流动性，同时又具有晶体的性质，即晶体所具有的光学特性（布拉格反射、衍射、旋光性以及折射率、导热率、弹性系数等的各向异性）和晶体电学特性（介电或磁各向异性、导电各向异性、压电效应等），因此它是介于固体和液体之间的一种中间状态，故称液晶，或称介晶相。

液晶一般由棒状柱形对称的分子构成，具有强的电偶极矩和容易极化的化学团。各分子沿一个方向择优排列，呈现为各向异性的液体。

液晶的许多物理性质，对外界的刺激是灵敏的。电场、磁场、热能和声能都能用来引起光学效应。实际上，直到现在，一切有关显示的研究都集中于电光效应上。液晶本身并不发光而是产生光散射、光学密度的调制或色彩的变化。液晶显示器件的明显特点是工作电压低，功耗很低，大小和形状有伸缩性和不受外界光的干扰。

### 热熔液晶

thermotropic liquid crystals

从固相加热而获得介晶态的材料称为热熔液晶。各向异性的液晶在固相和液相之间有一个稳定的特殊温度范围。热熔各向异性

的液晶材料，既能由固相加热，也能从液相冷却而得到介晶相。只有这类液晶对显示有用。

### 近晶型液晶

smectic crystal

这类液晶的分子排列成层，层厚约 20~30 埃，相互间容易滑动。分子长轴彼此平行而分子在近晶型平面内能够自由移动，但不能在平面间移动。单个分子还能绕其长轴旋转。

近晶型液晶粘滞性较大，因而对外界温度、电磁场的响应不甚灵敏，所以它的应用目前还不广泛。

### 向列型液晶

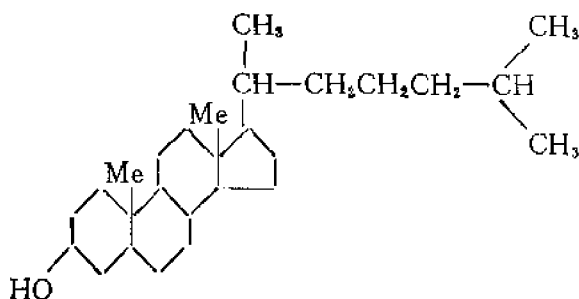
nematic crystal

向列型液晶的棒状分子排列顺序没有近晶型整齐。分子长轴象近晶型那样有一定取向，但分子不成层，在三维空间都能自由移动，单个分子也可以绕其长轴旋转。分子运动的自由度较大，但分子长轴保持方向上平行，因而它对外界电磁场、切应力的感应比较灵敏，故有广泛的用途。

### 胆甾型液晶

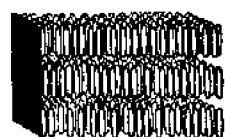
cholesteric crystal

它是由胆甾醇衍生出来的液晶，其分子结构如下：



当—OH 基团被脂化或被卤素取代后就

呈现液晶态。分子群呈扁平形状,同时排列成层,层内分子互相平行,各分子长轴均平行于层的平面,但层与层之间分子长轴的方向稍有变化,形成螺旋结构,螺旋轴垂直于分子长轴,分子长轴方向旋转  $2\pi$  弧度时沿螺旋轴的距离称为螺距。对平行于螺旋轴传播的光,由于这个螺旋结构的特点,在温度、电磁场和切应力变化时将会引起双折射、圆偏光二色性、旋光性与彩色特性的显著变化,所以有较广泛的应用。



近晶型液晶



向列型液晶



胆甾型液晶

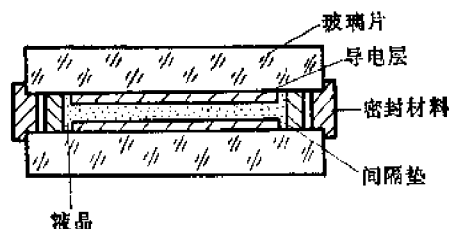
液晶的分子排列结构

### 液晶的封装

packaging of liquid crystal

图示为液晶显示用的标准夹心层液晶盒。隔垫材料须满足不与液晶起化学反应的要求。选用相对惰性的有机物质,如涤纶膜等。10 微米左右的玻璃小球也适用。

密封材料除要求与液晶相适合、不起化学反应之外,还要有良好的密封性及防水



液晶盒截面图

性。潮气可使许多介晶系统产生有害的反应。玻璃粉、软玻璃和聚合材料是合适的密封材料。

### 液晶盒

liquid crystal cell

见“液晶的封装”。

### 方向子

director

液晶态中分子的长程顺序和近似的平行取向,可用一个称为方向子的单位矢量来表示。方向子指的是,在液体的任意局部范围内长分子轴的平均取向。在长分子的局部取向中偏离于方向子的取向是由热起伏所引起的,并且用来表示液晶的无序量。

### 各向异性

anisotropy

液晶态中的各向异性是对方向子来下定义的。许多性质,比如介电系数、导电率和折射率,都用两个常数来表征。一个平行于方向子,另一个垂直于方向子。例如,平行介电常数  $\epsilon_{||}$  和垂直介电常数  $\epsilon_{\perp}$ 。如  $\Delta\epsilon = \epsilon_{||} - \epsilon_{\perp} > 0$ , 则这种介晶物质具有正介电各向异性。同样,如  $\Delta\epsilon < 0$ , 则这种介晶相就具有负的介电各向异性。对于其它的物理性质也可以作类似的叙述。

### 熔点

melting point

当晶体物质加热到一定温度,即从固态转变为液态(液晶物质此时即转变为液晶态)时,这个温度就称为该物质的熔点。然而真正的熔点应为固液两态在大气压下达平衡时的温度。对于一种纯物质来说,在一定压力下固液两态之间的变化是非常敏锐的。自初熔到全熔温度不超过  $0.5 \sim 1^\circ\text{C}$ , 并且每种物质有一固定熔点。因此从熔点的测定可以判断物质的纯度。如该物质含有杂质,则其熔点较纯物质为低而且熔化的温度区间也较大。

一般来说,有机杂质的存在可使熔点比纯物质的低,并且温度范围亦较宽。极少量的无机离子对熔点影响不大,所以液晶物质熔点反映的主要是有机杂质的存在。

### 清亮点

clearing point

当液晶从熔点继续加热达到某一温度,即到液晶相消失时,这个温度称为该液晶的清亮点。每一种液晶物质都有一个固定的清亮点。有机杂质越多清亮点越低,因此也用清亮点的高低来判断液晶的纯度。

### 电阻率

resistivity

以液晶作为一种显示材料,必须考虑在电场下有机离子和无机离子的影响。由于这些离子的存在,在电场的作用下,就将产生离子运动,甚至发生电解,从而破坏液晶的有序性。这些都会影响液晶的应用,故必须测量液晶的电阻率以判断液晶的纯度。一般有机杂质大多数是非电离的有机物,离子很少,所以无机离子则往往是电阻率低的原因。常用液晶的电阻率至少应在  $10^{10}$  欧姆·厘米以上。

### 电极

electrode

在液晶显示中,至少必须有一个导电层是透明的。最普通的透明导电层的材料是氧化铟和氧化锡的混合物。这种导电层的片电阻可在  $100 \sim 500$  欧/平方厘米的范围内,光透过率在 80% 以上。

其它的化合物用来做导电层的是掺铟的氧化锡膜。这种导电膜的化学耐久性、耐磨性、导电率、透光性都是很合适的。表面电阻可达 40 欧/平方厘米,透过率超过 75~80%。

透明导电膜可以根据材料,分别使用高频溅射、直流溅射、反应溅射、热蒸发或沉积等法制成。

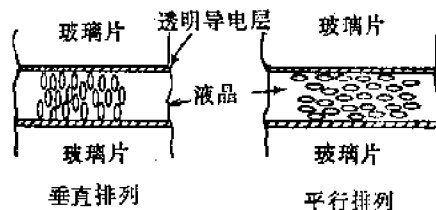
反射电极可以用金属(例如铝或铬)蒸

镀得到。其它镀层,如绝缘介质膜也可用作镜面反射表面,这些都能用电子束或热蒸发的办法得到。

### 表面取向

surface orientation

为了使液晶分子按照需要取向或排列,必须对基片或玻璃片进行表面处理,使液晶材料的表面层具有一定的取向。另外,为了最大限度地增加显示对比度,无论在液晶盒上加电压与否,也要求液晶高度有序。图中所示是最高有序的两个重要例子。要得到这些液晶分子的有序排列,也必须将做液晶盒的玻璃片进行适当处理。



液晶分子排列的两种情况示意图

### 垂直排列结构

homeotropic texture

所有液晶分子的长轴,或合成方向子,垂直于液晶盒的表面时,称为垂直排列结构,如图所示。垂直排列结构可以用铬酸腐蚀玻



垂直排列结构(盒厚150微米的MBBA●液晶)在偏光显微镜下观察到的偏光图

● MBBA——对甲氧基苯基对丁基苯胺。

璃表面获得。近年来也有在液晶中掺少量的活化分子添加剂而得到垂直排列。如将做液晶盒的玻璃片在卵磷脂的乙醇溶液中浸泡一下,也能得到很好的垂直排列。

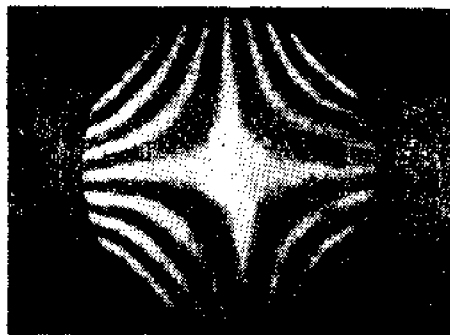
### 平行排列结构

homogeneous texture

当液晶分子具有平行排列取向时,方向子在毫米或更大尺寸范围内平行于盒壁,并指向一个方向。顶视时,液晶有单轴晶体的光学特性,以方向子为其主轴。其锥光图为双曲线,如图所示。

液晶盒的表面用纸片、纤维或棉毛等单向摩擦,可以得到平行排列。

用斜喷一氧化硅的方法,在真空中蒸镀一氧化硅时,使被镀玻璃片与水平线成 $85^\circ$ 角,并置于适当高度上,使膜厚不超过100埃,也能得到很好的平行排列。



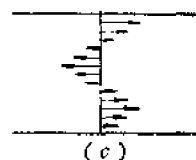
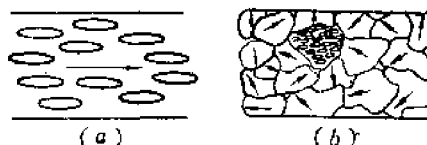
平行排列结构(盒厚150微米的MBBA液晶)

在偏光显微镜下观察到的锥光图

### 随机平行排列

random parallel alignment

方向子平行于盒的表面。在平行于盒壁平面内的方向子,其取向是不均匀的,在微米数量级的尺寸范围内随机变化。这种取向称为随机平行排列。用Map<sup>●</sup>硅烷耦合剂浸泡后,经固化而得到的基本上是随机平行排列。结合单向摩擦,可以得到比较耐久的平行排列基片。



各种平行排列结构示意图

(a)平行排列结构;(b)随机平行排列;(c)胆甾型液晶平面结构。

### 胆甾型液晶的平面结构

cholesteric planar texture

胆甾相液晶的平面或格朗琴(Grandjean)结构,在平面态,主螺旋轴垂直于液晶盒的电极表面。因此,每一螺旋面内的方向子平行于表面,其取向以螺旋方式从一胆甾相层变到另一层。

要得到胆甾相平面结构,也必须将基片经定向摩擦或用其它获得平行排列取向的办法,使液晶分子在边界上处于平行排列态,基片之间即以螺旋形排列。

这种排列对光是透明的,对白光的选择反射(从不同方向看去,呈现不同颜色),由螺距而定。加强电场时,能使螺距伸长,因而可看到色彩的改变。加较大的电场时,将产生“结构改变”,使螺旋轴歪斜,甚至“躺下”而平行于玻璃片表面。

### 焦律结构

conical texture

螺旋轴平行于玻璃片表面,但杂乱取向,分子长轴取向也是各方向都有,很不一致,因之入射光向各方向散射,看起来液晶盒是混浊的,即不透明。加较大的电场后,分子

● Map——N-甲基-3-氨基三甲氧硅烷。

长轴沿场强方向排列,螺旋结构瓦解成像向列相分子并垂直于玻璃片排列,则能透光。取消电场时,由于胆甾相分子的扭转弹性力作用,又恢复到原来的焦锥结构。

### 电光效应

electro-optic effect

在液晶薄膜上加电压时,会改变液晶的透过率和反射率,这种效应称为液晶的电光效应。

目前所发现的电光效应种类很多,概括起来可分两大类。

1. 电流效应:加电压后,有电流通过,造成液晶膜透光性的改变,如动态散射即属于一种电流效应。

2. 电场效应:液晶中没有电流通过,而是由于电场的作用,使其透光性发生变化,如扭曲效应、相变效应、宾主效应和电控双折射(或场感应双折射)等都属于场效应。

液晶材料可以看作是一种连续的弹性各向异性媒质。对正介电各向异性的物质来说,方向子沿电场方向排列;而如果介电各向异性是负的,则方向子倾向于垂直于电场方向排列。弹性力企图使由电场驱动的液晶分子恢复由表面排列所决定的原始取向。介电力矩和弹性力矩之间的相互作用导致阈值电压的出现。

### 场感应双折射

field induced birefringence

场感应双折射也称为垂直排列相畸变效应。这种效应的液晶盒,其极板表面必须经过处理,例如浸过卵磷脂,使液晶分子垂直排列。当不加电压和电压加到超过阈值时,液晶分子取向发生改变。不加电压时,向列型液晶处于垂直排列状态。为了使场感应液晶发生畸变,介电各向异性必须是负的。当电压超过阈值时,液晶发生畸变。在表面的液晶,其方向子假定始终是垂直于盒壁,畸变的角到盒的中间越大。

阈电压以下,垂直排列结构对垂直于盒壁传播的光是光学各向同性的。因此,对处于互相垂直的起偏器和检偏器之间的液晶盒没有光透过检偏器。当液晶畸变时,液晶对透射光发生双折射并有部分光通过检偏器。透过光的强度可表示为

$$I = I_p \sin^2(2\phi) \sin^2(\delta/2)$$

式中  $\delta = 2\pi d \Delta n / \lambda$ ;

$I_p$ ——入射光强度;

$\phi$ ——输入光的光矢量和在平行于盒壁的平面上的方向子的投影的夹角;

$d$ ——液晶厚度;

$\Delta n(V)$ ——电压感应的双折射变化;

$\lambda$ ——光的波长。

在某一电压值时,当  $\Delta n(E) \cdot d$  是某一波长  $\lambda/2$  的奇数倍时,  $\sin^2(\delta/2)$  就等于 1,所透过光的强度最大。此时即有对应于波长的色彩显示出来。当电压改变时,  $\Delta n$  也因而有变动,于是与最大透过光强度对应的波长  $\lambda$  也就不同,因而可产生不同的色彩。

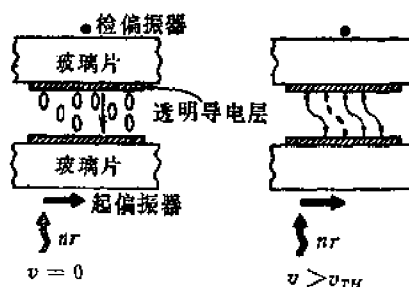


图1 感应双折射效应,加电压和不加电压的示意说明,箭头代表方向子的取向



图2 垂直排列取向液晶盒的顶视图

(a) 分子长轴垂直于玻璃片,  $v = 0$ ;

(b) 没有预先选定方向的液晶部分畸变。

### 垂直排列相畸变

deformation of vertically aligned phase

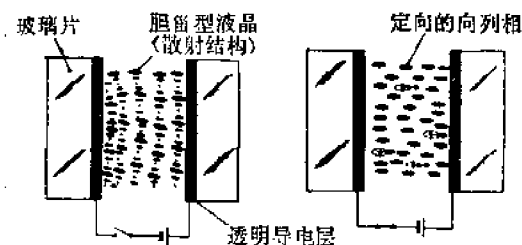
见“场感应双折射”。

### 相变效应

cholesteric-nematic transition

相变效应如图所示。这种效应只是当使用正介电各向异性的胆甾型液晶加电场时才能发生。零场时胆甾相平面近似垂直于液晶盒壁。螺旋轴平行于盒壁具有随机取向,而这种状态外观是强烈散射的。当电场趋近临界值时,螺旋开始松弛而伸长。超过阈值,所有分子,除表面层外,都平行于电场排列,成为垂直排列结构。当电场降低到阈值以下,就回到散射态。

螺旋轴平行于盒壁的散射结构,在不加电场时不是一种稳定态。而是一种亚稳定态,其寿命可以是几分钟到几个月,要视表面排列、液晶厚度和螺距而定。



相变效应的侧视图

### 扭曲效应

twisted effect

扭曲向列相场效应是场效应最重要的一种。在扭曲向列相器件中使用的是正介电各向异性的向列型液晶。液晶表面层分子与两个盒壁平行排列,但通过表面处理使两盒壁取向扭转 $90^\circ$ ,这种结构可以产生旋光特性。当外界偏振光入射后,偏振面便旋转 $90^\circ$ 。因为使用的是正光性材料,电偶矩方向与长轴方向一致。因此加电场后,分子也取电场的方向,旋光性因而减少,以至消失。在液晶盒两侧各加一偏振片,如两偏振片相差 $90^\circ$ ,

则当有旋光性存在时,光可通过。加电场使旋光性消失后,光就不能通过。如两偏振片方向一致,则情况相反,即加电场后光由通过变为不通了。

扭曲向列相器件的重要优点是,对比度高,阈值电压低,电光性能对液晶盒厚度及温度的变化不敏感,功耗低等。

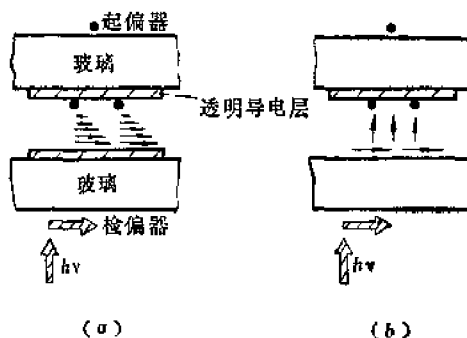


图1 扭曲向列相效应的侧视图

(a)  $V=0$ ; (b)  $V>V_{th}$ , 细箭头代表向列相分子取向。

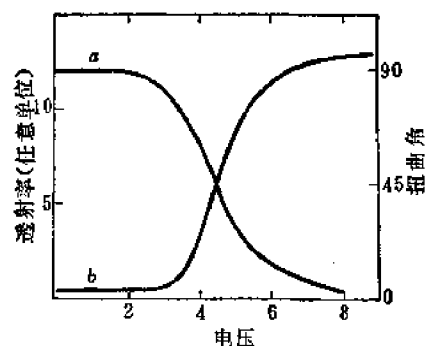


图2 扭曲效应曲线

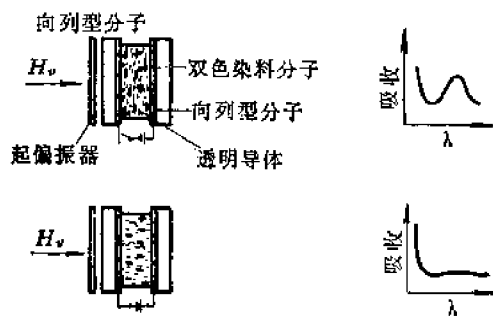
a—在室温和1千赫下向列型液晶线偏振光的扭曲角对电压的关系曲线; b—用平行偏振片时,透过率对电压的关系曲线。

### 宾主效应

guest-host effect

宾主效应所依靠的完全是介电力,其中以双色染料为“宾”混合在以向列相为“主”的材料当中。这种染料对平行于和垂直于其光轴的光吸收系数是不同的。如图所示,染料由液晶决定其取向。在零场时,液晶处于平行排列取向而染料分子以其长轴平行于线偏振光的光矢量。在这种情况下,染料分子

在可见光中有吸收带。在阈电压以上,正介电各向异性的向列型液晶倾向于平行于电场排列。这是低染料吸收的条件。因此,在这两种状态间能观察到彩色变化。

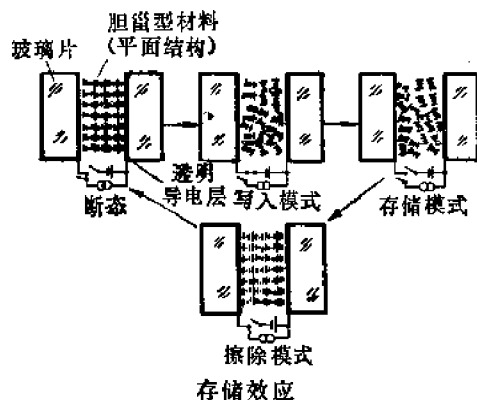


宾主效应

### 存储效应

storage effect

在负介电性的向列型液晶中,掺入少量胆甾型液晶,得到一种混合液晶。将这种液晶灌入液晶盒中,液晶薄膜是相对透明的。当加上足够幅度的直流或低频交流电压时,就感应出动态散射的强烈散射。当去掉电压后,动态散射消失,但保留着一种准持久的前方散射态(不透明状态),这就称为液晶的存储效应。存储时间长短,要视液晶种类和配比而定,有存储几分钟、几小时或几天的。可利用这种效应来做记忆元件。如加音频信号(大于500~1000赫)可以使散射态回到透明态,称为擦除模式,如图所示。在未加电场的断态时,液晶处于平面结构,其螺旋轴基本上垂直于基片(由于平面结构不



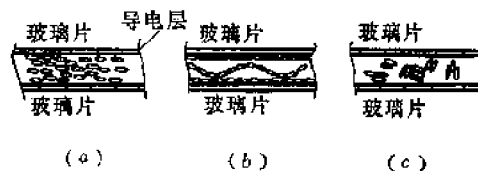
够完善,稍微有点散射)。

### 动态散射

dynamic scattering

负介电各向异性和电阻率小于 $(1\sim 2) \times 10^{10}$ 欧姆·厘米的向列型液晶,在直流电场或低频(一般在700赫以下)交流电场的作用下,由透明变为乳白色状态,这种现象称为动态散射。

动态散射发生的过程是,在电场的作用下,液晶分子的偶极矩沿电场的方向排列,但液晶中带电的载流子在电场中迁移就会引起液晶分子定向排列的破坏。这种排列被破坏的区域和未被破坏的区域之间的界面,受电场的作用不断更新,就产生动态散射。这种界面的尺寸远大于可见光的波长,而且液晶分子具有双折射特性,因而能强烈地散射外界的光线。



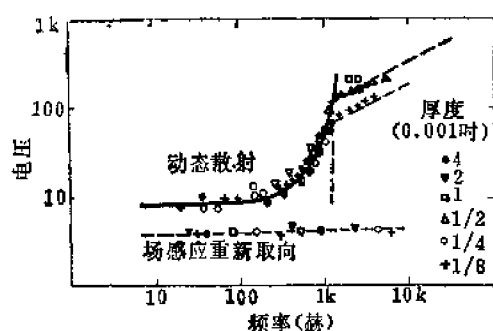
平行排列取向动态散射形成的各阶段侧视图

(a)  $V=0$ ; (b)  $V=V_W$ ; (c)  $V>V_W$ 。

### 导电区

conduction regime

图示为动态散射液晶盒阈电压与频率的关系曲线,纵座标是阈电压,横座标是信号频率。水平虚线是感应双折射的阈电压。实曲线描绘的是畴阈电压与频率的关系曲线。斜虚线是契夫伦(即场与流体相互作用形成介电区,引起周期性畸变的现象)形成的阈曲线,所用材料为MBBA(于 $25^{\circ}\text{C}$ )。 $f_c$ 是截止频率。动态散射只发生在 $f < f_c$ 和实曲线以上的电压范围内,这个区域称为导电区。当 $f > f_c$ 而电压在斜虚线以上时,发生契夫伦,这个区域称介电区,在实曲线和虚斜线以下称为畴稳定区。



动态散射液晶盒阈电压与频率的关系曲线

### 介电区

dielectric regime

见“导电区”。

### 畴稳定区

domain of stability

见“导电区”。

### 响应时间

transient response

在液晶盒上加电压后，液晶产生光电效应现象时所需要的时间，称为上升时间  $T_{\uparrow}$ 。去掉电压后，液晶恢复原状所需的时间，称为下降时间  $T_{\downarrow}$ 。响应时间反映液晶对电场响应的快慢。

### 显示寿命

display life

确定液晶工作寿命是相当复杂的，因为难于判定工作终止的条件。须要定量测定响应时间、向列相-各向同性，以及温度和功率消耗的变化，并主观评价稳定态的外观。有人提出，以液晶盒的散射面积失去50%为寿命终止的界限。外表和响应时间的改变，通常为流体在液-固界面失去排列所引起的。电流-时间关系的变化也可能是由流体和盒壁之间的化学作用所产生的。常用的某些液晶严重地受湿气和紫外线存在的影响。要将这两种不需要的因素降低到最低限度，就要有专门的液晶盒封装。

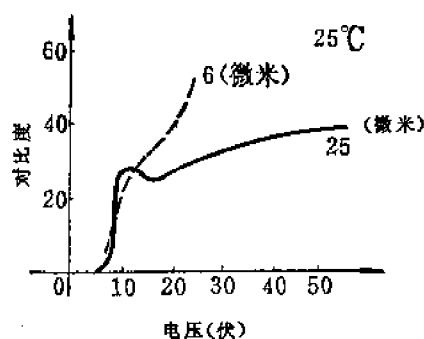
利用交流驱动信号而不用直流，可大大减小由电化学反应引起的可能失效。因此，商

用动态散射显示都是由交流信号驱动的。交流驱动的工作寿命大于5000~10000小时。场效应显示也可预期得到同样的工作寿命。

### 对比度

contrast ratio

将液晶盒用光学系统投射到幕上，在未加电压时，假设测得幕上照度为90勒克司，加直流电压100伏后，幕上照度如降为6勒克司，则  $90:6=15:1$ ，就是液晶在加100伏直流电压时的对比度。对比度反映液晶加电场后透光性的改变。液晶的透光性与所加电场的大小有关，参看图中曲线。

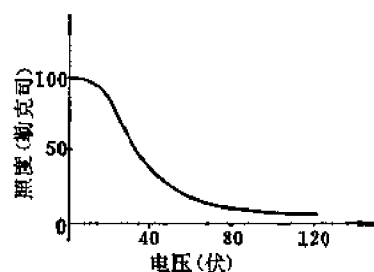


反射式对比度-电压曲线

### 灰度级

gray scale

液晶的透光性与所加的电压有关。将液晶盒在光学系统中进行投射，在盒上加不同电压，测出幕上对应的照度，作出电压-照度曲线。利用曲线中照度-电压成线性关系的那段，随着液晶膜上所加不同大小的信号，在幕上能按线性关系反应出灰度层次。这在显视复杂图像时是非常必要的。液晶材料不



液晶的照度-电压曲线



同,照度-电压曲线的形状也不一样。若曲线很陡,电压稍一变动,不是黑就是白,缺乏灰度层次,图像好似木刻,没有真实感,不宜用于电视显示。但数码显示或文字显示则不要求灰度级,只要黑白分明就行。

### 阈值电压

threshold voltage

在液晶盒上所加电压大于某一电压值后才开始有一定的电光效应,这个电压的低限称为阈值电压  $V_{th}$ 。如动态散射的阈值-电压约为 10 伏左右。不同液晶材料的阈电压不同。不同电光效应的阈电压也不相同,如扭曲效应阈电压较低,约在 2 伏左右。交流和直流驱动的阈电压也不同。

### 热光效应

thermo-optic effect

将重量比为 90% 的向列型液晶 MBBA 和 10% 胆甾醇型液晶 CE(cholesteryl erucate) 混合(MBBA 的液晶温度范围为 19~45°C, CE 为 10~62°C), 当温度变化时,透光率也变化,这种效应称为热光效应。当温度在 20~40°C 之间时,透光率约为 80%,是透明的;温度在 40°C 以上时,就成为各向同性的液体状态;而当回到原来的 20~40°C 之间的温度时,则变成透光率为百分之几的不透明状态。

### 液晶热光显示

liquid crystal thermo-optic display

指利用向列相-胆甾相混合物的热光性质进行显示。将材料从液晶相加热到各向同性相,然后令其冷却,能使向列相-胆甾相混合物从透明的平面结构变为高度散射态。在激光束扫描显示中,用激光束在局部地方造成光散射源,可把图像写入,如图 1 所示。热光液晶显示系统如图 2 所示。利用二氧化碲  $TeO_2$  的电光效应,调制激光光束的强度,用两个反射镜在  $x$ 、 $y$  方向偏转,把写在图形板上的数字、文字或图像写入液晶盒。由

另一途径用白炽灯照射液晶盒,把写入的图像投在幕上。

液晶盒厚度为 13 微米,在玻璃板上的透明导电膜 ( $In_2-xSn_xO_{3-y}$ ) 吸收来自激光的红外线,间接地使液晶温度上升。分辨率为每帧 2000×2000 个像素,像的保存时间为 500 小时以上。为了把像擦除,加频率为 5 千赫,电压为 50 伏的高频即可。

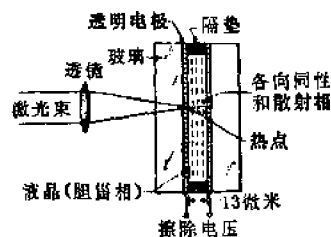


图1 激光寻址热光液晶光阀

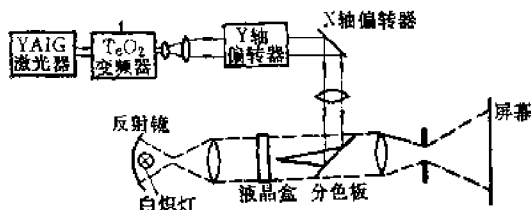


图2 在液晶盒上写入图像  
投射到屏幕上的系统

### 液晶数字显示

liquid crystal digital display

利用液晶的电光效应进行数字显示。液晶显示屏是由两个平板玻璃制成的,先在玻璃上喷镀一层氧化锡或氧化铜的导电层,然后用普通光刻技术制出七段式或八段式的电极,如图 1 所示。两片玻璃间垫一薄层涤纶膜(10~20 微米),中间充满液晶,四周密封,即可制成液晶显示屏(见图 2)。与相应 MOS/CMOS<sup>●</sup> 或晶体管逻辑电路匹配,进行数字显示(见图 3)。

显示方式有两种,即透射式和反射式。两个电极都透明即为透射式;一个电极镀铝、铬,另一个透明,则可作成反射式液晶屏

● MOS——金属-氧化物-半导体, CMOS——互补金属-氧化物-半导体。

(见图4)。

液晶数字显示具有电压低、功耗低、对比度高的优点(见表),故广泛用于仪表、袖

珍及台式计算机,数字电压表和全电子化手表的显示。

液晶数字显示比较

显示型式	电压	功耗 (瓦/厘米 <sup>2</sup> )	上升 (毫秒)	余辉 (毫秒)	对比度
动态散射	8~25	$10^{-6}$	10~80	30~200	20:1~60:1
扭曲效应	1~10	$\leq 10^{-6}$	10	100	50:1~100:1
垂直排列相畸变效应(DAP)	4~25	$\leq 10^{-6}$	10	100	1000:1
胆-向相变	10~100	$10^{-9}(\gamma)$	6(微秒)	100(微秒)	20:1

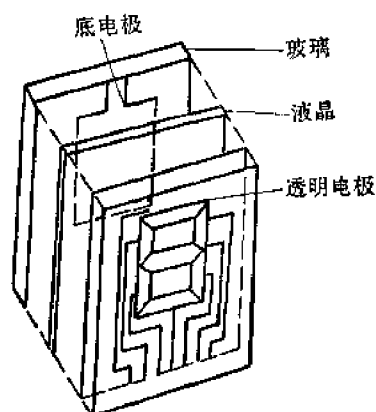


图1 七段式电极

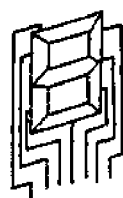


图2 液晶显示屏

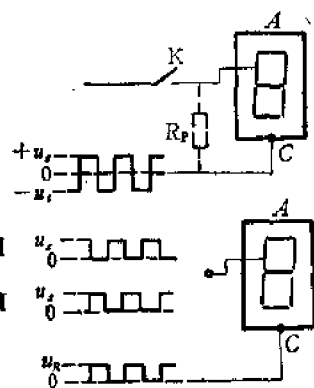


图3 液晶数字显示

A—液晶显示; K—开关; C—底电极;  $u_0$ —电压;  $u_R$ —参比电压; I—接通; II—关闭。

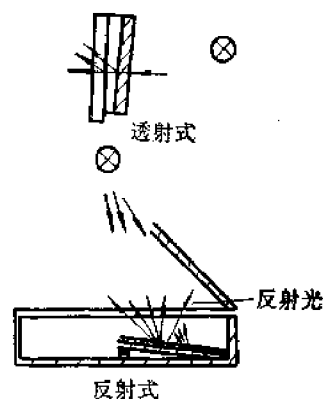


图4 透射式和反射式液晶数字显示

## 寻址技术

### addressing technique

用显示表现可见的信息需要一种或多种方法去激励媒质中的多重位置。通过显示传递信号信息和激励媒质中的不同位置的过程称为寻址。对液晶可用两种寻址方法。一种是射束操纵,其中包括如在阴极射线管中所作的电子束寻址和光束扫描。另一种方法就是“矩阵寻址”或“多路传输”(multiplexing),这两个词是等同的,但由于历史的原因,对大量单元的显示用“矩阵寻址”,对比较少量的单元则沿用“多路传输”。

## 矩阵寻址

### matrix addressing

在液晶的研究中,热衷于制作低功耗的二维显示。玻璃-液晶-玻璃这种结构的显示器件,第三维比其它二维小,约为3~1.2毫米。图1所示,是七段五位数的动态散射

显示(多元液晶显示的一例)。它的每个数的每段能够由驱动信号单独寻址,但这种方案在驱动线路和器件与驱动线路间的接线方面都很浪费。一种大为经济的方案是将显示器件排成 $x-y$ 矩阵。 $M \times N$ 个分解元的这种显示器件只需要 $M+N$ 根引线来处理。

对一个矩阵特有的操作来说,只是需要矩阵中某些单元受激励而其它的不受激励。否则就会在选通点附近产生“+”字形痕迹(称为交叉效应),从而降低对比度。为了克服交叉效应可采用双频供电法、三分之一电压法、加非线性材料或附加金属氧化物半导体元件等方法。

矩阵显示的特点是:

1. 耗电量少,工作电压低,可实现集成化平板显示;
2. 可存储,也可随机擦除;
3. 适合多路信息的接收,并可实现双色或多色显示。

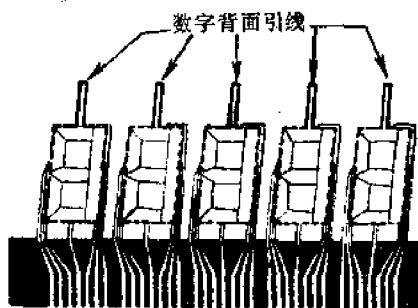


图1 七段五位数字显示(有电极的,顶视图)

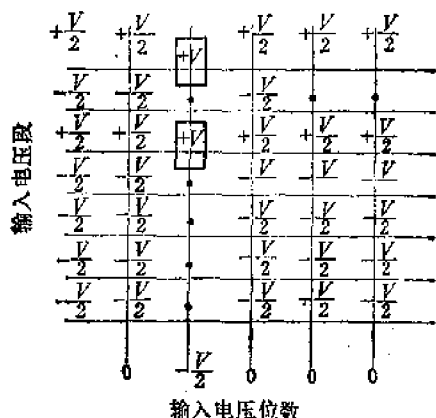


图2 引线排成矩阵的七段五位数字显示(加半电压选择脉冲)

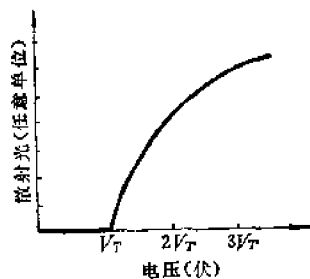


图3 动态散射的散射光-电压关系曲线

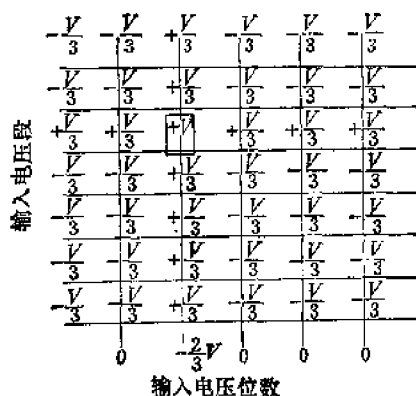


图4 三分之一电压选法

## 大屏幕液晶显示

large screen liquid crystal display

大屏幕液晶显示分为两大类,一种是矩阵实时寻址,另一种是实时模式中的射束扫描。

液晶矩阵实时寻址显示的液晶盒,在一块玻璃上光刻 $M$ 条横线,在另一块玻璃上光刻 $N$ 条竖线,由两者构成 $M \times N$ 个单元的像素矩阵。每个交叉点为一个像素。用 $M+N$ 条引线即能进行显示,不过加电压的方法要考虑到接通的地方电压必须大于阈电压,而断开的地方电压必须小于阈电压。同时还要考虑到上升时间要适当快些,下降时间也不能拖得太长,因此可以采用直流或倒频交流与高频同时输入的办法来达到上述目的。

如果能采取适当的办法,输入视频信号则能进行电视显示。将该液晶盒放在光学系统中投影,用适当的电视线路控制,就能实现大屏幕投影电视。

### 电子束扫描动态散射显示

electron-beam-scanned dynamic scattering display

这是投影电视的另一种装置,它实际上是将小投影管投影电视中的阴极射线管的荧光屏换成由钨针靶和导电玻璃作成的液晶盒。

钨针靶是在玻璃中镶嵌几十万根钨针的玻璃件,要求气密性好,针的分布要适当密而均匀。如果将动态散射液晶装在导电玻璃与针靶构成的液晶盒中,当阴极射线管中的电子束对针靶进行扫描时,钨针就将电荷引出,并与导电玻璃间被感应的电荷间形成一个电场加在其间的液晶上。按电视信号的强弱在靶上形成一个电荷图象。通过液晶的电光效应的作用以调制外光源的强度,在幕上就成为投影图象。

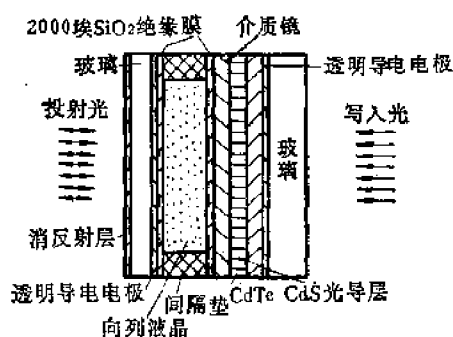
### 光导-液晶器件

photoconductor-liquid crystal device

图示为光导-液晶夹心层结构。在写入光一面的玻璃片上要镀上五层不同的材料,首先是导电电极,其次为光导材料硫化镉(CdS),再就是光吸收层碲化镉(CdTe),介质镜和绝缘膜。在投射光一面的玻璃片上,对

光的第一个面镀上消反射层,以增加对比度。另一面首先镀上导电层,再镀上一层绝缘膜(2000埃 $\text{SiO}_2$ ),其作用是避免液晶直接与导电层接触以延长液晶的工作寿命。以交流驱动代替直流对消除电化作用是有益处的。

硫化镉的电阻比液晶大,当写入光照射时,硫化镉的电阻下降到低于液晶,在液晶上就加了一定的电压。为了避免写入光和投射光相互干扰,加入硫化镉吸收层。介质镜在反射式投射时起反射光的作用。用小投影管收到的电视图象在光导层上成象,然后由外光源将该图象投到大屏幕上,这也是大屏幕电视的一种方案。



光导-液晶器件

## 五、驻极体

### 驻极体

electret

将电介质放在电场中就会被极化。许多电介质的极化是与外电场同时存在同时消失的。也有一些电介质，受强外电场作用后其极化现象不随外电场去除而完全消失，出现极化电荷“永久”存在于电介质表面和体内的现象。这种在强外电场等因素作用下，极化并能“永久”保持极化状态的电介质，称为驻极体。

驻极体具有体电荷特性，即它的电荷不同于摩擦起电，既出现在驻极体表面，也存在于其内部。若把驻极体表面去掉一层，新表面仍有电荷存在；若把它切成两半，就成为两块驻极体。这一点可与永久磁体相类比，因此驻极体又称永电体。

驻极体的发现不是太晚，但至今对它的研究仍不够深入，它的生成理论也不完善，应用也只是开始。虽然如此，驻极体已逐渐显示出它作为一种电子材料的潜力。

驻极体不能像电池那样从中取出电流，然而却可以提供一个稳定的电压，因此是一个很好的直流电压源。这在制造电子器件和电工测量仪表等方面是大有用处的。高分子聚合物驻极体的发现和使用，是电声换能材料一次巨大变革，利用它可以制成质量很高、具有很多优点的电声器件。另外还可制成电机、高压发生器、引爆装置、空气过滤器，以及电话拨号盘、逻辑电路中的寻址选择开关、声全息照相用换能器等。随着对驻极体研究的深入和新材料的连续发现，它会像永磁体一样，被广泛应用。

能制成驻极体的有天然蜡、树脂、松香、

磁化物、某些陶瓷、有机玻璃及许多高分子聚合物（例如 K-1 聚碳酸酯、聚四氟乙烯、聚全氟乙烯丙烯、聚丙烯、聚乙烯、聚酯）等。根据驻极化时所采用的物理方法，有热驻极体、光驻极体、电驻极体和磁驻极体等之分。

### 永电体

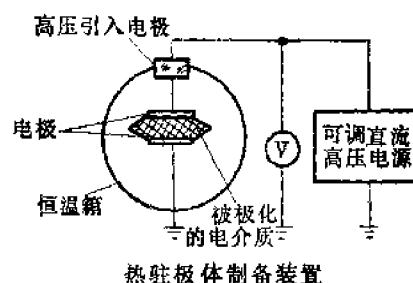
electret

即“驻极体”。

### 热驻极体

thermoelectret

将某些电介质材料加热（有的须加热到熔点附近），外加上直流高压电场，保温一段时间，然后冷却到室温，去掉外电场。制备装置如图所示。这样制成的驻极体叫热驻极体。热驻极体的研究较成熟，应用较多。



### 光驻极体

photoelectret

利用光导电材料，如硫、硫化锌、硫化镉等薄薄地涂在底板上，在外加直流电场的作用下，通过光照射，可制成光驻极体。这种驻极体只能保存在暗处，一遇光照极化电荷即消失。这样，如把它暴露于光图像下，使被照亮的区域释放电荷，在这层电介质材料上便留下一个与光图像相一致的静电潜像。利用以这一现象为基础的干燥显像术，

可制成自动拷贝机。另外,利用光驻极体的光波输入特性,还能用于某些测量装置中作为换能器。

### 电驻极体

electroelectret

不加热,不用光照,仅在常温下加上强外电场对电介质进行极化,制成的驻极体称为电驻极体。常见的陶瓷电介质钛酸钙、铜活化的硫化锌、高分子聚合物等,都可采用这种方法制成驻极体。

### 磁驻极体

magnetolectret

用类似于制备热驻极体的方法,把外电场改为强外磁场,作用于天然蜡、某些聚合物或有机玻璃,制成的驻极体称为磁驻极体。磁驻极体对于湿度、短路的灵敏度与其它驻极体相似,因而也有类似的应用。

### 放射性驻极体

radioelectret

天然蜡、硅酸硼玻璃和许多高分子聚合物,在放射线的照射下,也能成为驻极体。例如用 $\beta$ 射线照射,当电子打到电介质上时,电子就被俘获,于是被照射的一面就带有负电荷。由于负电荷对接地电极起感应作用,接地电极就带上了正电荷。这种正电荷逐渐迁移到电介质下表面,于是就制成了上、下表面带不同电荷的驻极体。这种驻极体称为放射性驻极体,又称人工驻极体或膜驻极体。

高分子聚合物放射性驻极体是一种理想的电声换能材料。

### 单极驻极体

monopole electret

采用高能电子射线照射某些高分子聚合物,使其只保留负电荷或正电荷,这种只具有一种符号电荷的变种驻极体称为单极驻极体。

这种驻极体除用于电声转换之外,还有

希望用作人造血管和人工心脏材料。带负电荷的高分子聚合物驻极体制成的人造血管埋入动物心脏或血管中,血液不在它周围凝固(可能是由于红血球也带负电荷),这可能是避免人造血管,和人工心脏植入动物体内引起血液凝固致死的一个有效途径。

### 驻极体静电计

electret electrometer

驻极体静电计有弦线式和悬盘式两种。

弦线式如图1所示。把一系重物镍铬丝置于两个矩形驻极体之间。当弦线上加有直流电压时,就会向左或向右移动。根据偏移值就能知道所加电压的大小。悬盘式如图2所示。用金属丝悬挂一驻极体于两块金属板之间,当两板有一直流电压时,驻极体盘就带着镜子转动。根据转动角的大小就可给出电压的数值。

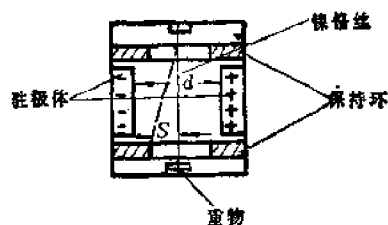


图1 弦线式驻极体静电计

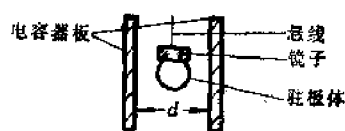
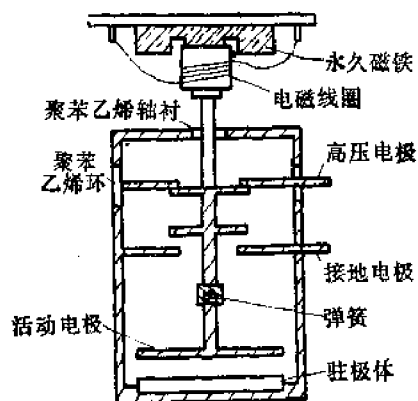


图2 悬盘式驻极体静电计

### 驻极体高压发生器

electret high voltage generator

这种装置如图所示。当电磁铁通以交流电时,活动电极便上下往返运动。在向下接近驻极体时,它的上下表面感生不同符号的电荷。下表面的电荷通过接地电极跑掉。活动电极上面的感应电荷在返回时通过高压电极输入高压电容器。如此不断升降,电容器就不断充电,电压可达10千伏左右。

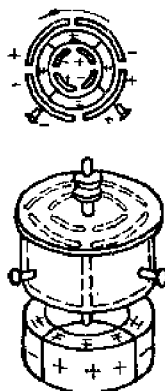


驻极体高压发生器

**驻极体电动机**

electret motor

驻极体电动机见图示。这种装置是按照与驻极体高压发生器相反的工作原理进行工作的。这种电动机体积小，重量轻，抗振性能好，不受外磁场干扰，现已应用于空间。

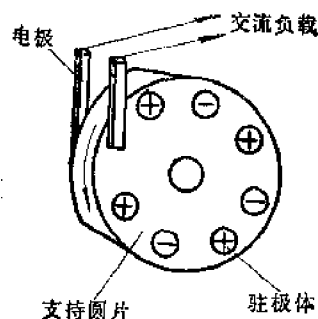


驻极体电动机

**驻极体静电发电机**

electret electrostatic generator

驻极体静电发电机是一种能得到 15000



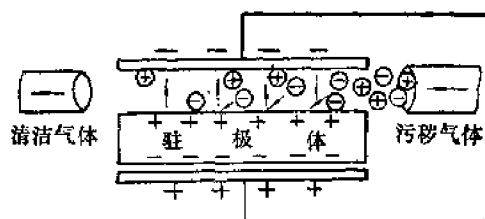
驻极体静电发电机示意图

伏的交流高压发电机。静电发电机的优点是功率重量比高和效率极高。驻极体很适于在高真空或空间环境下工作，它的潜在的应用是作为空间推进系统的静电发电机。

**驻极体空气过滤器**

electret air filter

利用驻极体做成的空气过滤器，如图示。当受污染的空气通过驻极体和金属平板间的间隙时，带电微粒或离子就吸附在驻极体和金属表面，使空气得到净化。这种空气过滤器的优点是体积小，不需电源便能正常工作。



驻极体空气过滤器

## 英文索引

- |   |  |
|---|--|
| <p><b>A</b></p> <p>acceptance test sheet 15—7</p> <p>A. C. Josephson effect 15—24</p> <p>activation 15—6</p> <p>additive process 15—4</p> <p>addressing technique 15—41</p> <p>anisotropy 15—23</p> <p>artwork master 15—3</p> <p><b>B</b></p> <p>balanced delay cable 15—10</p> <p>base material 15—2</p> <p>bonding sheets 15—2</p> <p>bow and twist 15—7</p> <p>brightener 15—3</p> <p>bucket-brigade delay line 15—12</p> <p>bulk ultrasonic delay line 15—13</p> <p><b>C</b></p> <p>center spot 15—3</p> <p>CFC flip-flop circuit 15—26</p> <p>CFC memory circuit 15—26</p> <p>charge coupled delay line 15—13</p> <p>chip delay line 15—12</p> <p>cholesteric crystal 15—32</p> <p>cholesteric-nematic transition 15—37</p> <p>cholesteric planar texture 15—35</p> <p>circulating surface acoustic wave delay line 15—19</p> <p>clearing point 15—34</p> <p>coaxial delay cable 15—10</p> <p>complete conductivity 15—23</p> <p>complete diamagnetism 15—23</p> <p>component hole 15—4</p> <p>component side 15—4</p> <p>conduction regime 15—38</p> <p>conductive foil 15—2</p> <p>conductive pattern 15—3</p> <p>conductor 15—3</p> <p>conductor space 15—7</p> <p>conical texture 15—35</p> <p>continuous-film memory (CFM) 15—27</p> | <p>contrast ratio 15—39</p> <p>critical current 15—22</p> <p>critical field 15—22</p> <p>critical temperature 15—22</p> <p>crossed film cryotron (CFC) 15—26</p> <p>cryotron 15—25</p> <p>current carrying capacity 15—8</p> <p><b>D</b></p> <p>datum reference 15—4</p> <p>d. c. Josephson effect 15—24</p> <p>deformation of vertically aligned phase 15—37</p> <p>delamination 15—7</p> <p>delay cable 15—10</p> <p>delay distortion 15—21</p> <p>delay element 15—10</p> <p>delay line 15—9</p> <p>delay time 15—20</p> <p>deviation width of conductor 15—7</p> <p>dielectric regime 15—39</p> <p>digital surface acoustic wave delay line 15—19</p> <p>director 15—33</p> <p>dispersive ultrasonic delay line 15—14</p> <p>display life 15—39</p> <p>domain of stability 15—39</p> <p>double side printed wiring board 15—1</p> <p>dry film resist 15—2</p> <p>dynamic scattering 15—38</p> <p><b>E</b></p> <p>echo ultrasonic delay line 15—14</p> <p>edge board contacts 15—4</p> <p>edge space 15—4</p> <p>electret 15—44</p> <p>electret air filter 15—46</p> <p>electret electrometer 15—45</p> <p>electret electrostatic generator 15—46</p> <p>electret high voltage generator 15—45</p> <p>electret motor 15—46</p> <p>electrically variable delay line 15—11</p> <p>electrode 15—34</p> <p>electroelectret 15—45</p> <p>electroless plating 15—6</p> <p>electromagnetic delay line 15—9</p> |
|---|--|



electromagnetic dispersive delay line	15-12	liquid crystal digital display	15-40
electron-beam-scanned dynamic scattering display	15-43	liquid crystal thermo-optic display	15-40
electro-optic effect	15-36	liquid ultrasonic delay line	15-13
electroplate	15-6	locating slot	15-4
etchant	15-3	location hole	15-4
etch factor	15-6	lumped constant delay line	15-11
etching	15-6		

## F

feed through signal	15-21
field induced birefringence	15-36
flexible printed wiring board	15-1
flush printed wiring board	15-2
flux meter	15-30
fluxes	15-3
frequency analyzer	15-31

## G

gray scale	15-39
guest-host effect	15-37
gyromagnetic delay line	15-20

## H

helical delay cable	15-10
homeotropic texture	15-74
homogeneous texture	15-35

## I

IMCON dispersive ultrasonic delay line	15-18
indentation	15-7
inks	15-3
insertion loss	15-21
inspection hole	15-4
insulation resistance between conductors	15-8
interconnection resistance	15-8
interlayer connection	15-3

## J

Josephson effect	15-24
------------------	-------

## L

land	15-3
large screen liquid crystal display	15-42
leakage signal	15-21
legend	15-4
liquid crystal	15-32
liquid crystal cell	15-33

## M

magnetic core delay cable	15-10
magnetoelectret	15-45
magnetostriuctive delay line	15-14
manufacturing drawing	15-3
marking	15-4
matrix addressing	15-41
meander delay line	15-12
measles	15-7
mechanically variable delay line	15-11
Meissner effect	15-23
melting point	15-33
metal clad board	15-2
metal foil clad board	15-2
millimeter and submillimeter wave generator	15-29
monopole electret	15-45
mounting hole	15-4
multilayer laminating	15-7
multilayer printed wiring board	15-1
multiple image production master	15-6

## N

nematic crystal	15-32
nick	15-7
nondispersive ultrasonic delay line	15-14
normal electron tunnel effect	15-24
normal state	15-22

## O

open circuit	15-8
outgrowth	15-7
overhang	15-8

## P

packaging of liquid crystal	15-33
pad	15-3
peel strength	15-8
perpendicular diffraction dispersive ultrasonic delay line	15-17
persistent current	15-23
persistent current memory cell	15-27
photoconductor-liquid crystal device	15-43

标准分享网 [www.bzfxw.com](http://www.bzfxw.com) 免费下载

## V

variable surface acoustic wave delay line 15—20  
variable ultrasonic delay line 15—14

## W

wave guide delay line 15—12

wedge diffraction dispersive ultrasonic delay  
line 15—17  
wide band, low level, visible frequency  
detector 15—30  
wire dispersive ultrasonic delay line 15—16  
wire-wound cryotron 15—25